

2ej
59



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN CONCENTRADOR
PARABOLICO COMPUESTO
(C. P. C.)**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A
JOSE GPE. MIRELES HERNANDEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PROLOGO

En este trabajo se presenta un estudio teórico y experimental del colector solar denominado Concentrador Parabólico Compuesto. Este estudio comprende la formulación teórica del C.P.C. por computadora, análisis óptico por trazado de rayos, planteamiento del problema para tener la máxima concentración teórica en una área reducida de acuerdo a la segunda ley de la termodinámica. Asimismo se establece el balance de energía en el absorbedor, desarrollo que se consigue siguiendo los lineamientos de Rabl y Winston. Se da la técnica que se utilizó para construir un colector prototipo, con la finalidad de verificar la teoría del C.P.C.

Se usan los criterios de normalización del concentrador, de acuerdo con las normas establecidas por American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers (ASHRAE) Y Commission of the European communities (CEC). El captador se normalizó orientado en forma longitudinal norte-sur y este-oeste. Se estudió el efecto que se produce cuando se reduce el área de la superficie del reflector, en ambas orientaciones. La temperatura del agua de entrada al colector en la serie de experimentos realizados cubrió el intervalo de 20.0 a 45.0 °C .

PROLOGO

I N D I C E

I.-	INTRODUCCION	1
II.-	REVISION BIBLIOGRAFICA	9
III.-	DESCRIPCION MATEMATICA DEL CONCENTRADOR PARABOLICO COMPUESTO.	
III.1	Geometria básica del Concentrador Parabólico Compuesto.	16
III.2	Expresión para el perfil del C.F.C. con absorbedor de sección circular.	20
III.3	Análisis por trazado de rayos.	29
III.4	Definición de la relación de concentración teórica máxima y su relación con el ángulo de incidencia máxima.	32
III.5	Análisis del C.F.C. truncado.	37
III.6	Programa de Computadora para el análisis del C.F.C.	40
IV.-	PROPIEDADES TERMICAS DEL C.F.C.	
IV.1	Flujos de calor que se presentan en el C.F.C.	44

IV.2	Balances de energía	51
V.- EQUIPO EXPERIMENTAL		
V.1	Colector	52
V.2	Sistemas auxiliares	53
V.3	Secuencia de construcción del C.P.C.	55
VI.- NORMALIZACION DEL C.P.C.		
VI.1	Características generales	56
VI.2	Variables experimentales a medir.	57
VI.3	Instrumentación	57
VI.4	Procedimiento de cálculo	62
VI.5	Pasos de iniciación	64
VII.- ANALISIS DE RESULTADOS.		
VII.1	Metodología de análisis	67
VII.2	Estudio paramétrico	71
VII.3	Descripción de los experimentos representativos	74
VIII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
83		
Anexo I	Programa para evaluar el C.P.C.	85
Anexo II	Técnica para depositar superficie	

selectiva en absorbedor.	89
Anexo III Programa para conectar sistema de adquisición de datos con microcomputadora HP 216	95
Anexo IV Programa para graficar temperatura contra tiempo.	96
Anexo V Programa para graficar insolación contra tiempo.	97
Anexo VI Programa para evaluar la eficiencia promedio y graficar la eficiencia promedio contra tiempo.	98
Anexo VII Programa para graficar temperatura contra distancia a lo largo del absorbedor.	100
IX.- BIBLIOGRAFIA	101

La utilización de la energía solar es sin duda alguna una meta importante que se han trazado los organismos interesados en proveer de energía a la sociedad moderna. Emplear la energía solar como fuente primaria de energía presenta una serie importante de ventajas, ya que es -para propósitos- una fuente inagotable, limpia y disponible en cualquier localidad del territorio nacional. Sin embargo tal como se recibe en la superficie terrestre, la energía solar es sumamente diluida; solo 10^3 W/m², comparado con 10,000 Kcal / Kg del petróleo ó o 4,200 Kcal/ m³ del gas natural que se suministra en la ciudad. Esta característica hace que la energía solar solo pueda ser considerada competitiva en casos muy particulares con otras fuentes energéticas. Una solución propuesta para subsanar la baja densidad energética de la radiación solar, es la de emplear espejos concentradores. Hasta hace algunos años, los concentradores solares funcionaban bajo el principio de formar imagen del disco solar idealmente en un punto. La geometría óptica para este trabajo son los paraboloides de revolución y los canales cilindricos-parabólicos, para el óptimo funcionamiento de estos dispositivos, requiere que su eje óptico este orientado hacia el Sol con una precisión de $\pm 2'$. Debido al constante movimiento aparente del Sol en el hemisferio celeste, la necesidad de mantener el eje óptico del concentrador orientado correctamente, implica un complicado y costoso sistema de seguimiento.

La solución a este problema, fué descubierta hace menos de veinte años y aplicada a la captación de la energía solar hace aproximadamente diez años. El principio en que se basa dicha solución consiste en concentrar la radiación no en un punto, sino en una área determinada. Esto permite construir un dispositivo que concentre la radiación solar en orientación fija; evitando de esta manera todos los mecanismos de seguimiento. La geometría de este captador esta formado por parábolas y por consiguiente recibe el nombre de CONCENTRADOR PARABOLICO COMPUESTO (C.P.C.).

En el presente trabajo se describe este tipo de concentrador y se presentan los resultados experimentales obtenidos de un concentrador prototipo. En detalle, el contenido de este trabajo es el siguiente:

En el capítulo I se presenta la estructura de como se organiza este trabajo y algunas definiciones que facilitan su comprensión. También se establecen los objetivos que regirán el curso de este desarrollo. En el capítulo II se da una breve reseña histórica del surgimiento del concepto de C.P.C., así como de algunos trabajos experimentales y teóricos. En el capítulo III se hace el estudio teórico del C.P.C. Se discute en detalle el caso en el que el absorbedor tiene forma de aleta colocada en posición horizontal. También se presenta el caso de absorbedor de sección transversal circular. Asimismo se presenta en este capítulo la descripción del trazado de rayos modelado por computadora; esto es, el seguimiento de la traza de un haz de luz que entra al concentrador, incide en la superficie del

reflector y es reflejado hacia el absorbedor. También se establece la concentración máxima permisible que se puede lograr de acuerdo a la segunda ley de la termodinámica. Se analiza el caso en el que se trunca el reflector del C.P.C. con objeto de disminuir la razón costo-beneficio y se establecen los criterios para que se lleve a cabo este truncamiento. Finalmente se describe el programa de computadora para trazar el contorno del C.P.C. del absorbedor y realizar las operaciones adecuadas para que grafique el trazado de rayos paralelos a un ángulo de aceptación dado, este programa también hace el truncamiento del reflector con los criterios que se establecen para este fin.

En el capítulo IV se presenta el estudio de los modos cómo se transfiere la energía en el concentrador, estas formas de transferencia de calor son: convección, conducción y radiación.

El estudio de los modos de transferencia de energía en el colector se realizan de acuerdo a los criterios establecidos por Winston y demás autores que han analizado este problema. También se plantean los casos de transferencia de calor que se presentan en el C.P.C. Finalmente se establece el balance de energía en el absorbedor para que con ello se obtengan los coeficientes de transferencia de calor por convección, temperatura en la área de apertura de entrada y se conozca el calor útil extraído del C.P.C.

En el capítulo V Se describen los materiales empleados en la construcción del C.P.C., secuencia y forma en que fue construido el concentrador empleado en este estudio.

En el capítulo VI se especifican las variables medidas así como los instrumentos utilizados para la caracterización del C.P.C..

En el capítulo VII se presentan los grupos de datos obtenidos experimentalmente con el C.P.C. divididos de acuerdo con las condiciones en que se efectuaron cada uno de ellos, de los cuales se tomaron experimentos representativos para realizar un análisis en detalle de cada grupo y de esta forma caracterizar el C.P.C.

En el capítulo VIII se presentan las conclusiones y recomendaciones que surgen de este estudio.

En el capítulo IX se presenta la bibliografía utilizada para el desarrollo de este trabajo.

Finalmente se presentan los Anexos I, III al VII en donde se muestran los listados de los programas usados en este trabajo, para la construcción del C.P.C. y el análisis de la información obtenida experimentalmente.

En el Anexo II se muestra la técnica que se siguió para depositar la superficie selectiva de cromo negro en el absorbedor del C.P.C.

Para mayor claridad en la discusión se definen en seguida algunos conceptos empleados frecuentemente.

Absorbedor.

El absorbedor es la parte del colector en donde la radiación solar converge y por donde circula el fluido al que se le transfiere la energía. Es deseable que el absorbedor tenga propiedades ópticas selectivas.

Área de apertura de entrada del colector

La área de apertura del colector es el área a través de la cual la radiación solar es admitida.

Área de apertura de salida ó del absorbedor.

El área de apertura de salida ó del absorbedor es el área donde incide la radiación solar concentrada. Esta área coincide con el área total de transferencia de calor.

Ángulo de incidencia ó de diseño

El ángulo de incidencia es el ángulo entre la dirección de propagación de la radiación solar directa y la normal al plano de apertura.

Concentrador de Radiación Solar

El Concentrador de Radiación Solar es un dispositivo mediante el cual se hace converger la radiación solar incidente sobre una área dada en una zona de menor área por medio de elementos

ópticos.

Los Concentradores se dividen en dos tipos de acuerdo a su geometría: 1.- Bidimensionales, 2.- Tridimensionales. Ejemplo de concentradores bidimensionales son: el cilindro parabólico, el Concentrador Parabólico Compuesto, el canal, etc. Los paraboloides de revolución son concentradores tridimensionales.

Otra clasificación de los concentradores está referida a la posición de captación de radiación solar: 1.- El sistema estacionario. 2.- Sistema con seguimiento solar. Los Concentradores cuyo sistema es estacionario se instalan en una sola inclinación de acuerdo a la latitud geográfica del lugar.

Los concentradores cuyo principio es la convergencia de la radiación incidente en un solo punto, esto es, forman imagen, necesitan sistema de seguimiento debido a que cuando la radiación no incide paralelamente al eje focal la concentración no se lleva a cabo.

Longitud de apertura de entrada

La longitud de apertura de entrada es la distancia máxima entre las superficies del reflector.

Relación de Concentración

La relación de concentración es la relación entre el área

de apertura y el área del absorbedor.

Superficie con propiedades Ópticas Selectivas.

Son superficies con alta absorptividad para radiación con longitudes de onda en la región del visible y baja emisividad en la región del infrarrojo. También se les llama simplemente "Superficies selectivas".

Los objetivos de este trabajo se divide en dos grupos.

El primer grupo está formado por el estudio teórico del diseño del C.P.C. y se subdivide en:

- i.- Diseño del perfil del C.P.C. por computadora.
- ii.- Trazado de rayos.
- iii.- Análisis de truncación del C.P.C.
- iv.- Balance de energía

El segundo grupo de objetivos consiste en la construcción y caracterización del C.P.C. y consta de:

- i.- Instrumentación del concentrador.
- ii.- Caracterización del concentrador de acuerdo a las Normas establecidas para este fin.
- iii.- Análisis de resultados experimentales.

II

REVISION BIBLIOGRAFICA

Los comienzos del C.P.C. surge a mediados de los años 60 y se da simultáneamente en tres diferentes lugares: En Estados Unidos inventada por Winston R. y Hinterberger, con experimentos para concentrar radiación tipo Cherenkov. En la Unión Soviética por Baranov y Melnikov, quienes utilizaron este principio en experimentos de colección de energía solar y en Alemania este mismo concepto fué desarrollado por Floke para aplicaciones fotovoltaicas. Estos investigadores obtuvieron patentes, en sus respectivos países.

A partir de este tipo de concentrador no formador de imagen se han realizado investigaciones para delinear sus aplicaciones. A continuación se presentan algunos estudios concernientes al funcionamiento del C.P.C.

En 1970 Winston EIJ plantea condiciones generales de cómo se puede llevar a cabo la concentración de luz. Inicia su estudio con sistemas de geometría óptica formadora de imagen, distingue entre colección de luz con estos sistemas y teoría para sistemas no formadores de imagen. Para ello discute la conservación de espacio de fase empleando para ésto el principio de Fermat que afirma que la trayectoria de un rayo

luminoso que viaja de un punto a otro es la correspondiente al tiempo mínimo. Si el medio en el cual se propaga la luz es homogéneo, la trayectoria de tiempo mínimo es también la distancia mínima y por tanto en tal medio los rayos son rectilíneos. Dando condiciones específicas obtiene la relación de concentración para el C.P.C. Winston también establece las condiciones para que el concentrador sea simétrico con respecto a su eje óptico.

En 1974 Winston publica el diseño de Concentrador Solar [2]. En este artículo explica cómo al hacer experimentos relacionados en concentrar radiación tipo Cherenkov (radiación que viaja más rápido que la luz en un medio) llegó al diseño del C.P.C. para aplicaciones de concentración solar. Establece la relación entre concentración y horas de colección al día en orientación este-oeste y concluye por ejemplo que para un factor de concentración de 10 el período de captación en promedio es de 8 horas al día.

En 1975 varias instituciones entre ellas el Laboratorio Nacional de Argón y la Universidad de Chicago, interesadas en el diseño del C.P.C. se abocaron en realizar investigación en diferentes tópicos relacionados al estudio del colector, algunos de los cuales se resumen a continuación.

Winston y Hinterberger [3] estudian las ecuaciones que describen el contorno del C.P.C. con absorbedor de aleta en posición horizontal. Rabl y Winston [4] construyen un C.P.C. con

absorbedor de aleta en posición horizontal, reportan los resultados experimentales obtenidos con el equipo y establecen los balances de energía. Robl [5] evalúa el factor de cambio, esto es, presenta un método para evaluar el número de reflexiones en el concentrador. Aplica este método a concentrador en forma de "V" y al C.P.C. con absorbedor de aleta en posición horizontal. También encuentra la relevancia que presenta este factor para aplicaciones de concentración de energía solar. Raymundo et al. [6] reportan el diseño óptico y la construcción del C.P.C. con un receptor de aleta y la relación entre el área del reflector y la altura. Establecen la técnica para medir experimentalmente las propiedades ópticas del C.P.C., como la reflectividad del espejo y su ángulo de aceptación.

U.Ortabasi y Fehlner [7] evalúan las ecuaciones del C.P.C. para absorbedor de sección circular. El absorbedor está inmerso en el tubo de vidrio de un diámetro mucho mayor con el objeto de formar tubos evacuados en los que el perfil del C.P.C. ya esté incluido. Evalúan las pérdidas de calor por radiación, que tiene el tubo evacuado y construyen un concentrador de acuerdo a este diseño, con objeto de caracterizarlo.

En 1976 aparecen los artículos, que por su contenido son los más importantes en el estudio teórico de las características térmicas, ópticas y operacionales del C.P.C.

Robl [8] realiza un estudio comparativo de las propiedades del C.P.C. con otros concentradores tales como Parábolas, Lentes de Fresnel, Concentrador en forma de "V", hace la deducción rigurosa

de la teoría para determinar la máxima concentración permisible de acuerdo a la segunda ley de la Termodinámica, así como la formulación teórica para el trazado de rayos del C.P.C. de tres dimensiones (forma cónica del C.P.C.). Este mismo autor evalúa la transferencia de calor por radiación y convección del C.P.C. en dos dimensiones cuyo absorbedor es una aleta en posición horizontal [9]. También calcula la absorptividad efectiva e introduce el concepto de truncación de la altura del reflector del concentrador. Este último resultado es de gran importancia práctica por razones económicas ya que demuestra como es posible truncar hasta en un 50% la altura del concentrador sin que con ello demerite sustancialmente sus características ópticas, térmicas o su eficiencia.

En una publicación subsecuente, Rabl también resuelve las ecuaciones que describen el contorno del Concentrador Parabólico Compuesto [11] con absorbedor de forma arbitraria y para el caso de mayor interés en aplicaciones de energía solar con absorbedor de sección transversal circular.

En aplicaciones de uso en celdas fotovoltaicas, Winston [10] establece las relaciones de concentración que se obtienen para el C.P.C. en tres dimensiones.

Rabl y Winston en el artículo denominado, "Concentrador Ideal de Fuentes finitas y restricción del ángulo de salida", [12] Presentan dos puntos de interés del C.P.C. que son consideradas de importancia práctica. El primer punto considera la distribución de la radiación sobre la superficie del absorbedor. En el segundo describen el ángulo de incidencia a la

superficie del reflector y cuál debe ser el ángulo del rayo reflejado.

Allen [13] construye un C.P.C. en donde el absorbedor es una aleta en posición horizontal y realiza el balance de energía. Considera también la factibilidad del uso de este equipo en aplicaciones industriales, tanto en el orden fototérmico como fotovoltaico, ya que se tiene el intervalo de temperatura adecuada para estas aplicaciones y también porque se puede mejorar la eficiencia del colector colocando segundos concentradores tales como lentes de Fresnel, concentrador en forma de "V" etc. [3] [16].

Goerge [14] y Allen et al. [17] presentan resultados experimentales de C.P.C.s uno con absorbedor de aleta en posición vertical y el otro con el absorbedor en posición horizontal, ambos absorbedores, se encuentran dentro de un tubo de vidrio, al volumen anular se le reduce la presión del orden de (10^{-4} Pa), obteniendo así un absorbedor evacuado. Esto se hace con el fin de disminuir las pérdidas de calor por convección y radiación. Además muestran resultados obtenidos experimentalmente para diferentes fluidos de trabajo.

Rabl [15] evalúa la radiación especular a través del canal que se forma al construir el C.P.C. en dos dimensiones. Encuentra la transmitancia y absorbencia de radiación a partir del número promedio de reflexiones que se producen entre el absorbedor, reflector y el área de apertura.

En 1978 en diferentes instituciones empiezan a dar mayor

importancia a la utilización del C.P.C. Por ejemplo: General Electric, el Instituto Fermi, conjuntamente con las instituciones que ya se encontraban trabajando en este proyecto. Ellos diseñan concentradores con tubos evacuados con el perfil del C.P.C. inmerso en el tubo de vidrio que contiene al absorbedor [18].

En este año aparecen más trabajos sobre concentradores que no forman imagen [19,20,27], la diferencia de éstos con el C.P.C. es que no son simétricos con respecto a su eje óptico. Winston establece criterios [22] para realizar el contorno del C.P.C. con absorbedor de sección circular, el cual está dentro de otro tubo de vidrio, para reducir la presión en el volumen anular, obteniendo de esta manera un tubo evacuado, de sección transversal circular. Se comienza a realizar investigación para evaluar teóricamente el C.P.C. como lo establece Collares-Pereira [24,25,30] quien a partir de la latitud, altitud y longitud encuentra la radiación en cualquier región desde un punto de vista teórico y con esto obtiene las características del C.P.C. y comprueba su desarrollo teórico con resultados experimentales [24].

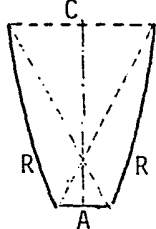
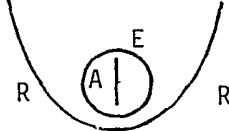
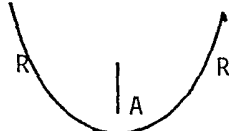
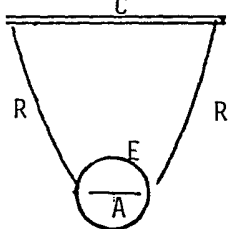
Rabl y Winston [26] establecen los cuatro tipos de absorbedores que usualmente se presentan en los C.P.C.s: aleta, horizontal y vertical, triángulo y sección circular. Dan criterios para introducir estos absorbedores en un envolvente y cómo con ello obtener el sistema listo para eliminar la presión en el área anular eliminando así las pérdidas de calor por convección y radiación. Asimismo evalúan las pérdidas

ópticas que se introducen por este envolvente y el efecto que se produce en el sistema al no alinear correctamente el absorbedor. Ballhen y Jonsr.[34,35] muestran los trabajos de construcción y pruebas experimentales del C.P.C. con absorbedor de aleta en posición horizontal.

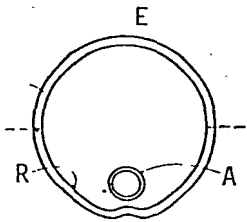
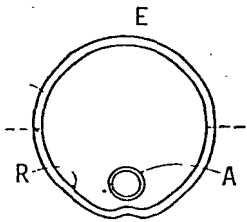
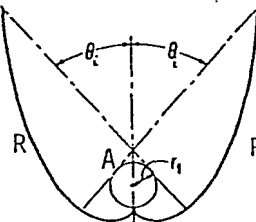
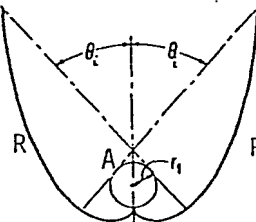
En 1980 Jones [36] realiza una aproximación del C.P.C. a lo que denominó como Arco Circular, este diseño parte de una aproximación de la circunferencia, tiene propiedades muy parecidas a las del C.P.C..

Los artículos experimentales que aparecen a partir de 1980 se refieren a la caracterización de C.P.C. se reporta un resumen de estos en la tabla I.1

T A B L A I.1

AUTOR	FORMA DEL CONCENTRADOR Y CONCENTRACION	ANGULO DE ACEPTACION	AREA DE APERTURA DEL REFLECTOR m ²	MATERIAL CUBIERTA DEL REFLECTOR	FLUIDO DE TRABAJO	EFICIENCIA n (%)	COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR BTU/hr ft ² °F
Rabl, A. et al. [4]	C=3 	38°	0.4929	ALUMINIO EVAPORADO	UNA AGUA	80.0	0.65
Raymundo, M. et al. [6]	C=3	38°	0.0103	ALUMINIO EVAPORADO	UNA ETILEN GLICOL-AGUA	50.0	0.49
Allen, N. [13]	C=10	5.7°	55.80	PLACA DE ALUMINIO	UNA VIDRIO AGUA	55.0	0.80
Jones, R.	C=3	38°	2.0	PLACA ALUMINIO	UNA VIDRIO AGUA	60.0	1.75
Thodos, J. [14]	C=3 	38°	0.0116	DEPOSITO DE MAYLAR	UNA VIDRIO DOWTHERM' A	54.0	--
O'Galleger [39]	C=3 	38°	0.0116	DEPOSITO DE MAYLAR	UNA VIDRIO AGUA	60.0	3.0
Allen, J. [17]	C=3 	38°	9.3	DEPOSITO DE MAYLAR	UNA VIDRIO AGUA	55.0	0.75

CONTINUACION

Garrison, A. [40]	C=1.41		45.17°	9.3	DEPOSITO PLATA	AGUA MOBITHERM	61.0 49.0	- -
O'Gallego [41]	C=1.5		41.81°	9.3	DEPOSITO DE PLATA	AGUA	64.0	-
[39]	C=1.5		38.68°	2.0	DEPOSITO DE PLATA	AGUA	65.0	0.2
	C=1.7		36.03°	2.0	DEPOSITO DE PLATA	AGUA	64.0	1.75
Ballehein, R. [34]	C=4.1		14.11°	876.3	PLACA DE ALUMINIO	UNA VIDRIO ETHYL ESH-4	55.0	1.75
Mireles, J. y Ramos, E. [56]	C=2		30°	0.216	ACERO INOXIDABLE	--- AGUA	62.0	

NOTA

LA EFICIENCIA REPORTADA PARA LOS DIFERENTES CONCENTRADORES ES TOMADA DE LA GRAFICA DE EFICIENCIA PROMEDIO VERSUS TEMPERATURA NORMALIZADA, PARA ESTE LOS DIFERENTES AUTORES TOMAN EL VALOR DE LA TEMPERATURA NORMALIZADA DESDE DIFERENTES PUNTOS DE VISTA POR LO QUE LA EFICIENCIA REPORTADA NO ES MUY COMPARATIVA.

- A ES EL ABSORBEDOR
- E ES EL ENVOVENTE
- R ES EL REFELCTOR
- C CUVIERTA

III DESCRIPCIÓN MATEMÁTICA DEL CONCENTRADOR PARABÓLICO COMPUESTO

III.1 Geometría básica del C.P.C.

En la presente sección se plantea el estudio del diseño teórico del Concentrador Parabólico Compuesto. Así como la forma de obtener el perfil básico del Concentrador, partiendo del concepto de la ecuación de la parábola que en coordenadas cartesianas se define, en términos de las coordenadas de la fig.III.1 como:

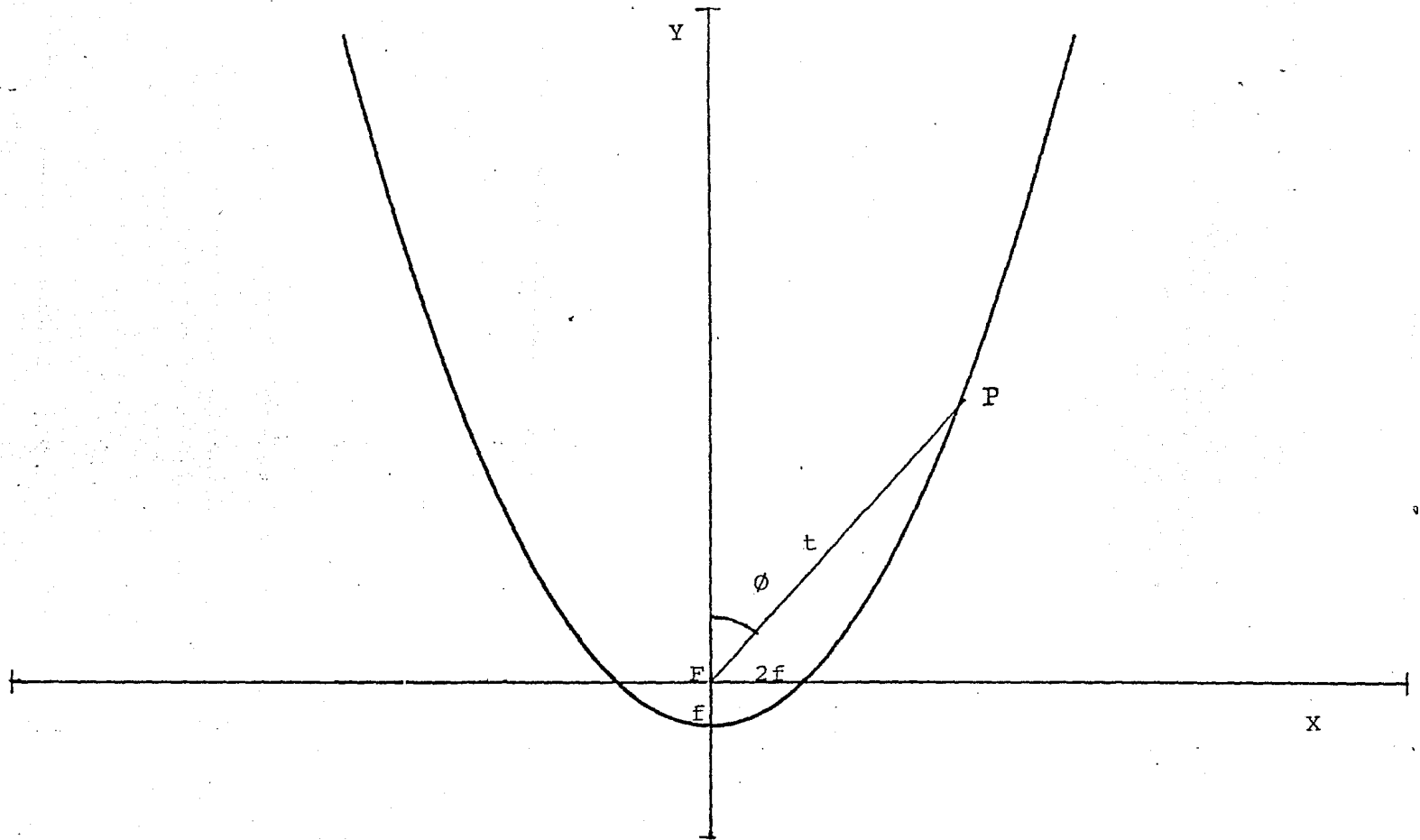
$$Y + f = X^2 / 4 * f \quad (III.1)$$

donde el origen del sistema de ejes está en el foco (F), f es la distancia focal definida como, el segmento de recta comprendido entre el foco F y el vértice A. Transformando esta ecuación en coordenadas polares y siguiendo el mismo sistema de referencia mostrado en la fig.III.1 tenemos:

$$t = \frac{2 * f}{1 - \cos(\theta)} = \frac{f}{(\sin(\theta / 2))^2} \quad (III.2)$$

Donde t es la distancia desde el foco F a un punto P del perfil de la parábola, θ es el ángulo que se obtiene de la

DISEÑO BASICO DEL C.P.C.



P A R A B O L A

FIGURA III:1 ORIGEN DEL SISTEMA EN EL FOCO

distancia del foco a un punto sobre el perfil y el eje "Y".

Para iniciar este desarrollo consideremos, la notación mostrada en la fig.III.2. (siendo F simétrico a P') FF' es el área de apertura de entrada y QQ' es el área de apertura de salida, θ_i es el ángulo máximo de colección, que se mide con respecto al eje óptico del concentrador.

Para determinar el diseño del C.F.C., se tomarán dos parábolas cuyos focos están en Q y Q'. Las parábolas tienen sus ejes inclinados $+\theta_i$ y $-\theta_i$.

Para el análisis se tomará sólo medio concentrador, ya que el sistema es simétrico con respecto al eje óptico. Así de la fig.III.2 la parábola comprendida entre los puntos P' y Q' con foco en Q se expresará en términos de coordenadas polares (r, θ) . Teniéndose para la apertura de salida la siguiente expresión:

$$QQ' = 2 * f / (1 - \cos(\pi/2 + \theta_i)) \quad (\text{III.3})$$

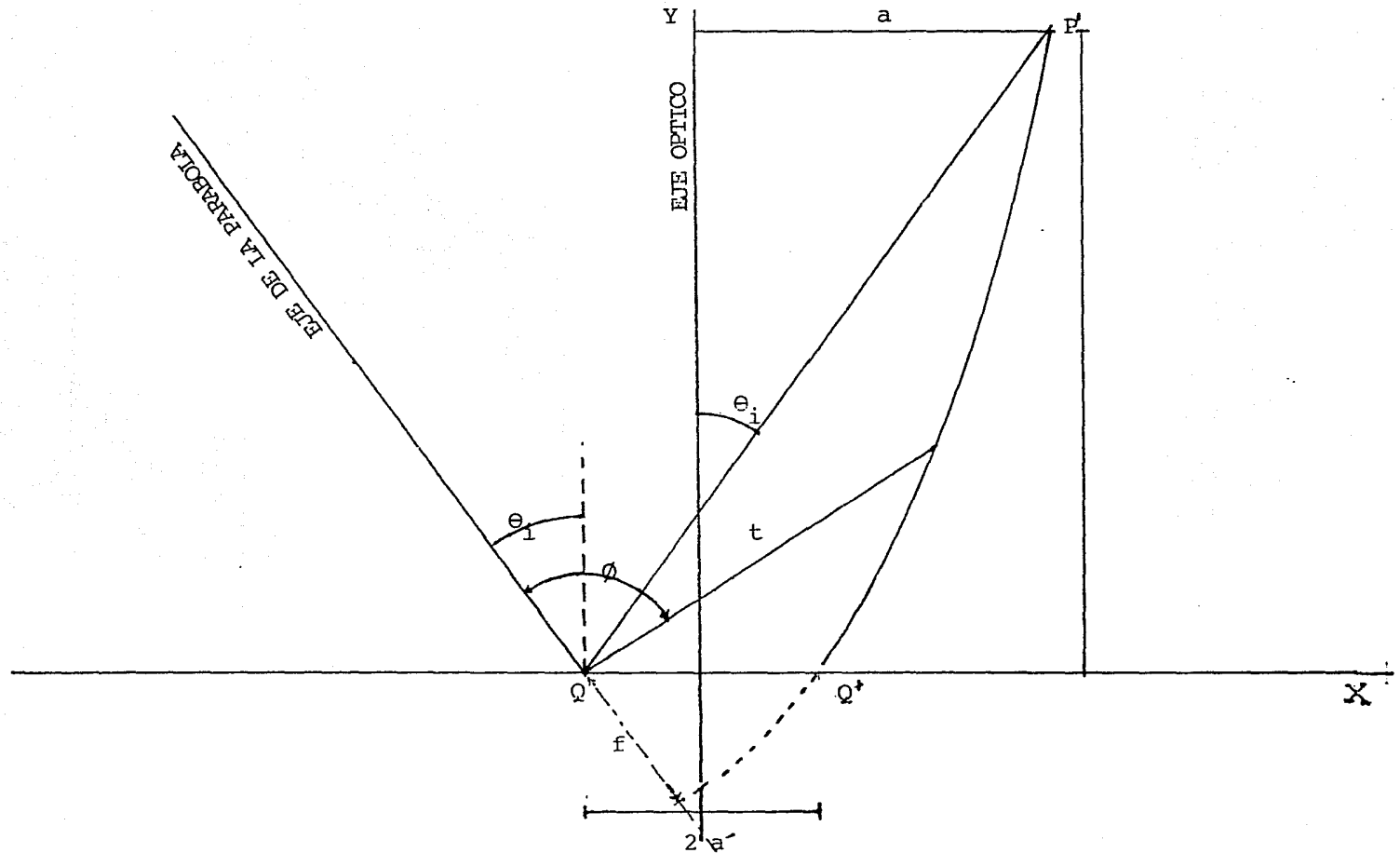
si llamamos $2a'$ como QQ' y lo sustituyamos en la ec.III.3 se obtiene la distancia focal como:

$$f = a' (1 + \text{sen}\theta_i) \quad (\text{III.4})$$

por lo que tenemos que de la misma fig.III.2 se encuentra el valor de QF' como:

$$QF' = 2 * f / (1 - \cos (2\theta_i)) \quad (\text{III.5})$$

DISEÑO BASICO DEL C.P.C.



PARABOLA DEFASADA θ_i

FIGURA III.2 PARABOLA DEFASADA θ_i GRADOS SU EJE RESPECTO AL EJE OPTICO

substituyendo la ecuación III.4 en III.5 obtenemos:

$$QP' = a'(1 + \sin \theta_i) / \sin^2 \theta_i \quad (\text{III.6})$$

nuevamente de la fig.III.2 se encuentra la expresión:

$$a + a' = QP' \sin(\theta_i) \quad (\text{III.7})$$

multiplicando la expresión III.6 por $\sin \theta_i$ se llega a.

$$QP' \sin \theta_i = a'(1 + \sin \theta_i) / \sin \theta_i \quad (\text{III.8})$$

igualando la ecuación III.7 y III.8 encontramos:

$$a + a' = a' (1 + \sin \theta_i) / \sin \theta_i \quad (\text{III.9})$$

despejando "a" de la ec.I.9 se tiene:

$$a = a' / \sin(\theta_i) \quad (\text{III.10})$$

tomando nuevamente a la fig.III.2, se puede encontrar la altura del concentrador (h) como:

$$h = QP' \cos \theta_i = a'(1 + \sin \theta_i) \cot \theta_i / \sin \theta_i$$

o bien:

$$b = (a + a') \cot \theta_i \quad (\text{III.11})$$

La presentación de las ecuaciones paramétricas, que describen el contorno del C.F.C. se obtienen de la figura III.2, el origen de los ejes se encuentra en el centro del área de apertura de salida y considerando al eje "Y" o lo largo del eje óptico del concentrador se tiene:

$$X = t * \text{sen} (\theta - \theta_i) - a' \quad (\text{III.12})$$

$$Y = t * \text{cos} (\theta - \theta_i) \quad (\text{III.13})$$

substituyendo la ecuación III.2 en III.12 y III.13 obtenemos:

$$X = [2 * f * \text{sen} (\theta - \theta_i)] / (1 - \text{cos} \theta) - a' \quad (\text{III.14})$$

$$Y = [2 * a' (1 + \text{sen} \theta_i) \text{cos} (\theta - \theta_i)] / (1 - \text{cos} \theta_i) \quad (\text{III.15})$$

Estas son las ecuaciones paramétricas que describen el contorno del C.F.C con absorbedor de aleta en posición horizontal.

III.2 Expresión para el perfil del Concentrador Parabólico Compuesto con absorbedor de sección circular.

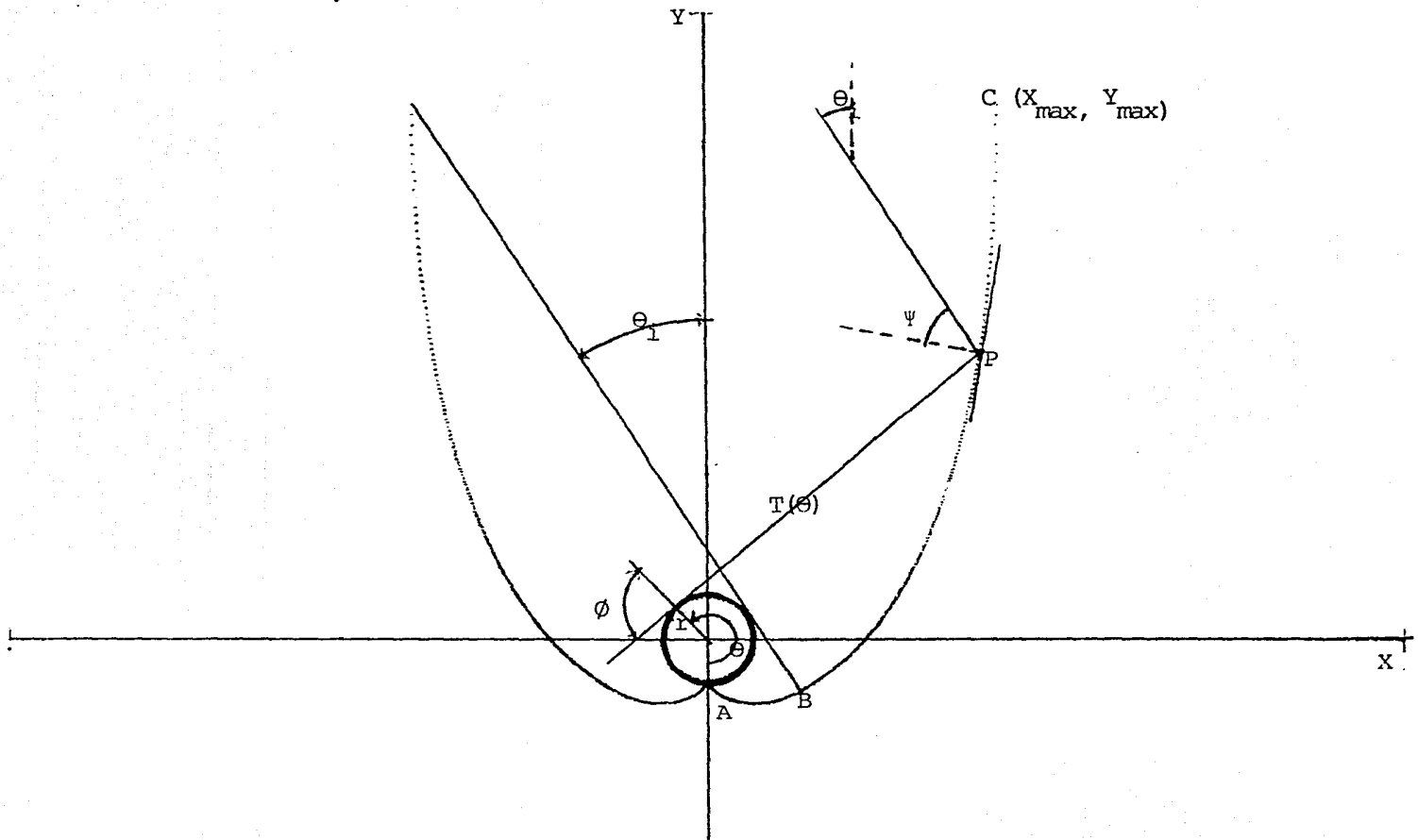
Ahora, siguiendo con el desarrollo anterior, nos abocaremos a encontrar las ecuaciones diferenciales que describen el contorno del C.P.C. en dos dimensiones para el caso con absorbedor de sección transversal circular. En esta sección se presenta también su solución, el cálculo de la apertura de entrada y la relación de concentración.

La manera de obtener un perfil de un concentrador con concentración teórica máxima, para el caso de un absorbedor de sección transversal circular es partiendo este en dos secciones [13,34]. El punto divisional entre estas secciones es el punto B el cual se muestra en la fig.III.3 y se define [50] cuando el rayo entra a la apertura con el ángulo crítico θ_i que debe ser tangente al absorbedor.

La primera sección que está comprendida entre A y B se denomina "involuta". Esta sección es sombreada para rayos directos a ángulos menores que θ_i , (siendo θ_i el ángulo de entrada máxima a la sección transversal de la apertura de entrada).

La segunda sección es tal, que los rayos que entren al concentrador, con un ángulo θ_i sean tangentes al absorbedor después de una reflexión en la superficie del reflector del C.P.C.

DISEÑO DEL C.P.C. COMPLETO



ORIGEN DEL C.P.C.

FIGURA III.3 FIGURA PARA DETERMINAR EL MODELO TEORICO DEL C:P.C.

La superficie del reflector será especificada en coordenadas polares (r, θ) , el origen del sistema se fija en el centro del absorbedor y el valor de cero grados para θ corresponderá al eje negativo de las "Y". Así cuando $\theta = 0$ se tendrá el valor del punto A que corresponde a las coordenadas del punto inicial del perfil del C.P.C. como se muestra en la figura III.3. El punto corriente P sobre la superficie del perfil estará a una distancia T de los correspondientes puntos tangentes sobre el absorbedor, siendo este una función de θ .

Usando la notación de la fig.III.3 las coordenadas del punto P se pueden expresar como:

$$X = r * \text{sen}(\theta) - T(\theta) * \text{sen}(\theta + \theta) \quad (\text{III.16})$$

$$Y = -r * \text{cos}(\theta) + T(\theta) * \text{cos}(\theta + \theta) \quad (\text{III.17})$$

para el caso de un absorbedor de sección transversal circular se tiene:

$$\theta = \pi / 2 \quad (\text{III.18})$$

por lo que las ecuaciones paramétricas al sustituir el valor de θ quedan como:

$$Y = r * \text{sen}(\theta) - T(\theta) * \text{sen}(\theta + \pi) \quad (\text{III.19})$$

$$X = -r * \text{cos}(\theta) - T(\theta) * \text{cos}(\theta + \pi) \quad (\text{III.20})$$

Aplicando relaciones trigonométricas las ecuaciones paramétricas se reducen a:

$$X = r * \text{sen } (\theta) - T(\theta) * \text{cos } (\theta) \quad (\text{III.21})$$

y

$$Y = - r * \text{cos } (\theta) - T(\theta) * \text{sen } (\theta) \quad (\text{III.22})$$

Derivando las expresiones III.21 y III.22 respecto al ángulo θ se obtiene:

$$dX/d\theta = r * \text{cos}\theta + T(\theta) * \text{sen } \theta - T'(\theta) * \text{cos}\theta \quad (\text{III.23})$$

$$dY/d\theta = r * \text{sen}\theta - T(\theta) * \text{cos } \theta - T'(\theta) * \text{sen}\theta \quad (\text{III.24})$$

Ecuación de la parte inferior del C.F.C.

En términos de los componentes vectoriales, la orientación de la tangente a los puntos dados (X,Y) sobre la curva del espejo $f(X,Y)$ están definidos por:

$$df = \frac{\partial f(X,Y) \partial \theta}{\partial \theta} = \frac{\partial(X) \partial \theta}{\partial \theta} + \frac{\partial(Y) \partial \theta}{\partial \theta} \quad (\text{III.25})$$

ó bien

$$\frac{df(X,Y)}{d\theta} = F' = \frac{i dX}{d\theta} + \frac{j dY}{d\theta} \quad (\text{III.26})$$

Un vector, que se forma entre los puntos ubicados sobre la curva del espejo y los que son tangentes al absorbedor cilíndrico está dado por:

$$T' = i \cos \theta + j \sin \theta \quad (\text{III.27})$$

y se requiere que en la parte inferior de la curva del espejo, T' siempre sea normal al vector en el punto tangente en el perfil F' ; es decir que el producto escalar de los vectores normales en este punto de intersección es igual a cero, esto es:

$$(T', F') = dX/d\theta \cos\theta + dY/d\theta \sin\theta = 0 \quad (\text{III.28})$$

Si se multiplican las ec. III.23 y III.24 por $\cos \theta$ y $\sin \theta$ respectivamente y efectuando simplificaciones se llega a la siguiente expresión:

$$dX/d\theta \cos \theta + dY/d\theta \sin \theta = r - T' \quad (\text{III.29})$$

igualando las ecuaciones III.28 y III.29 se obtiene:

$$r - dT/d\theta = 0 \quad (\text{III.30})$$

Integrando esta ecuación llegamos a:

$$T(\theta) = r * \theta \quad (\text{III.31})$$

Por lo que las ecuaciones que describen la parte de la involuta del perfil del C.F.C. están dadas en forma paramétrica como:

$$X(\theta) = r * \sin \theta - r * \theta * \cos \theta \quad (\text{III.32})$$

$$Y(\theta) = -r * \cos \theta - r * \theta * \sin \theta \quad (\text{III.33})$$

donde θ está en el intervalo de 0 a $\theta_B = \pi / 2 + \theta_i$ (este intervalo se demuestra más adelante)

Ecuación de la sección superior del C.P.C.

La orientación de un rayo crítico en la sección de la parábola del C.P.C. esto dado por:

$$C' = i \operatorname{sen} \theta_i - j \operatorname{cos} \theta_i \quad (\text{III.34})$$

el rayo con ángulo crítico será reflejado tangencialmente al absorbedor, el vector reflejado estará dado por T' . Siendo C' y T' vectores unitarios, el producto escalar con F' , es decir la tangente a la curva del espejo puede ser igual a:

$$(F', C') = (F', T') \quad (\text{III.35})$$

usando las ec. III.26 y III.27 se obtiene la expresión siguiente:

$$(F', C') = dX/d\theta * \operatorname{sen}\theta_i - dY/d\theta * \operatorname{cos}\theta_i \quad (\text{III.36})$$

de acuerdo a la ec. III.29 se tiene que:

$$(T', F') = r - T' \quad (\text{III.37})$$

en consecuencia,

$$dX/d\theta * \operatorname{sen} \theta_i - dY/d\theta * \operatorname{cos} \theta_i = r - T' \quad (\text{III.38})$$

integrando esta ecuación se obtiene

$$X * \sin \theta_i - Y * \cos \theta_i + b = r * \theta - T(\theta) \quad (\text{III.39})$$

donde b es la constante de integración. Para encontrar el valor de b se sustituyen las expresiones de X y Y de las ec. III.21 y III.22 respectivamente para obtener:

$$r * \cos (\theta - \theta_i) + T(\theta) * \sin (\theta - \theta_i) + b = r * \theta - T(\theta) \quad (\text{III.40})$$

La constante b puede ser obtenida de la condición límite al punto B donde el rayo crítico es reflejado [7,12] dentro del interior.

La relación entre θ_i y θ está dada por (ver la fig. III.3)

$$\theta = \theta - (\pi/2 - \theta_i) \quad (\text{III.41})$$

donde θ es el ángulo entre el rayo crítico y la normal a la tangente en el punto de reflexión sobre el perfil. En el punto B donde θ es igual a cero se deduce que:

$$\theta_B = \pi/2 + \theta_i \quad (\text{III.42})$$

sustituyendo este resultado en la ecuación III.40 se encuentra el valor de la constante de integración como:

$$b = -r (\pi/2 + \theta_i) \quad (\text{III.43})$$

Sustituyendo b en la ec. III.40 se obtiene el valor de T(θ)

$$T(\theta) = r[\pi/2 + \theta_i + \theta - \cos(\theta - \theta_i)]/[1 + \sin(\theta - \theta_i)] \quad (\text{III.44})$$

por lo tanto las ecuaciones paramétricas que describen el perfil del C.P.C. en la sección superior del perfil del C.P.C se expresan como:

$$X(\theta) = r * \sin \theta - T(\theta) * \cos \theta \quad (\text{III.45})$$

$$Y(\theta) = -r * \cos \theta - T(\theta) * \sin \theta \quad (\text{III.46})$$

donde el valor de T(θ) está dado por la ec. III.44, θ cubre el intervalo desde θ a $\theta_{\max} \leq \pi/2 - \theta_i$ (el límite de θ_{\max} es encontrado en la siguiente sección).

Cálculo de la apertura máxima de operación (X_{\max}) y el ángulo máximo de apertura (θ_{\max})

La máxima apertura de operación (X_{\max}) del perfil del C.P.C. puede ser obtenida, derivando la ec. III.22 e igualandola a cero para encontrar el máximo:

$$dX/d\theta = r * \cos \theta + T(\theta) * \sin \theta - dT(\theta)/d\theta * \cos \theta = 0$$

(III.47)

y derivando la ec. III.44

$$\frac{dT(\theta)/d\theta}{- \cos(\theta - \theta_i)} = \frac{r \left[\frac{\pi}{2} + \theta_i + \theta - \cos(\theta - \theta_i) \right]}{[1 + \sin(\theta - \theta_i)]^2} \quad (III.48)$$

ssustituyendo este valor en la ec. III.46 y resolviendo está expresión se encuentra:

$$\theta_{max} = \frac{\pi}{2} - \theta_i \quad (III.49)$$

de las ec. III.44 y III.45 se obtiene respectivamente

$$T(\theta_{max}) = r \left[\frac{\pi}{2} + \sin \theta_i \cos \theta_i \right] / (\sin \theta_i)^2 \quad (III.50)$$

y

$$X_{max} = \frac{r}{\sin \theta_i} \quad (III.51)$$

Finalmente con esto se encuentra definido el contorno del Concentrador Parabólico Compuesto con absorbedor de sección circular en dos dimensiones, usando las ecuaciones (III.32, III.33, III.42, III.44, III.45, III.46 y III.49) para el caso de la sección de la involuta y de la parábola.

III.3 Análisis por trazado de rayos

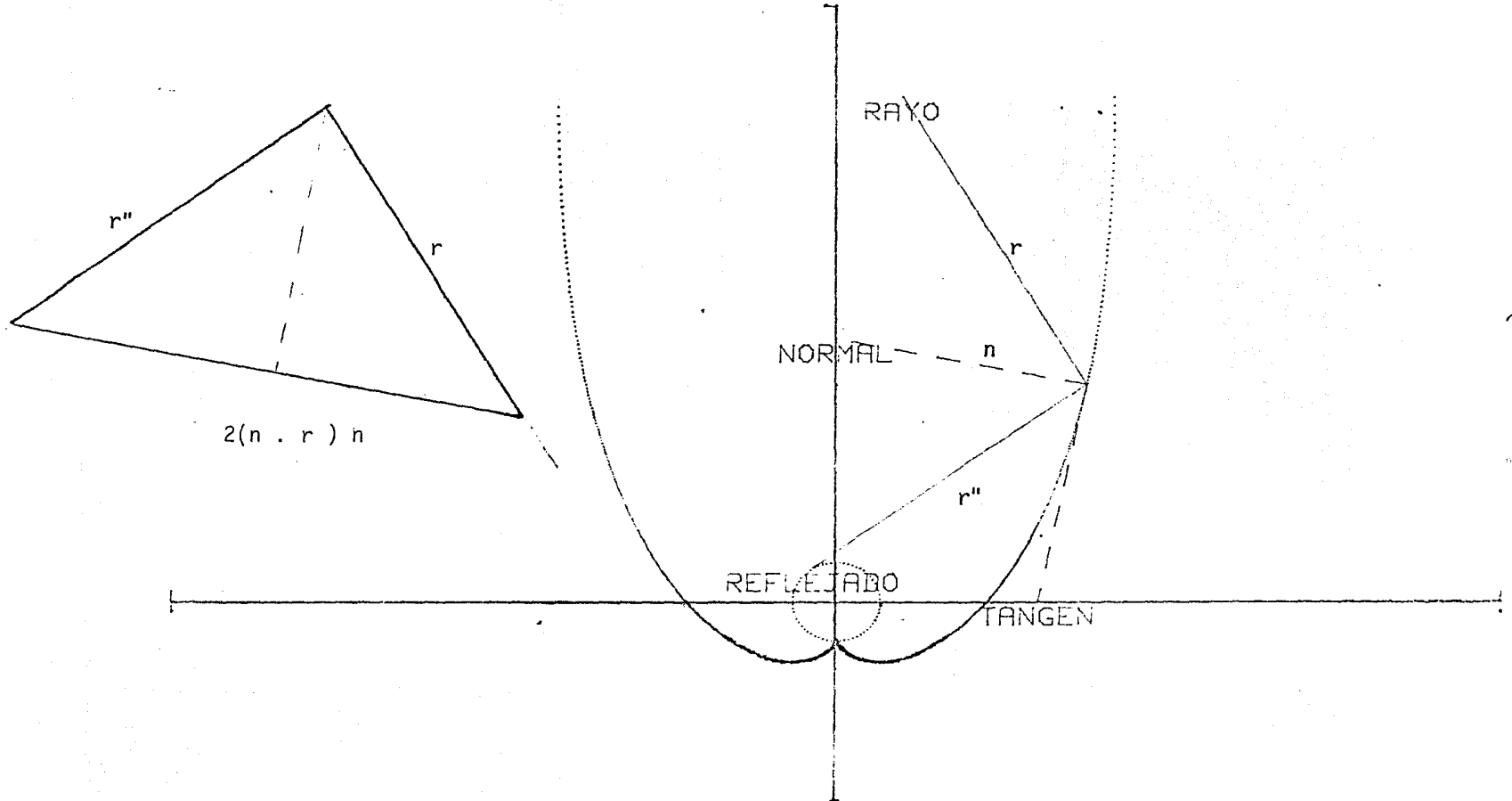
Cuando la luz es reflejada en una superficie la reflexión obedece a la ley de reflexión. La parte de diseño y análisis de concentración, involucra al trazado de rayos, es decir seguir la trayectoria del rayo a través de la secuencia: incidencia del haz de luz a la superficie y reflexión de éste.

Un procedimiento conveniente del trazado de rayos involucra el planteamiento vectorial de las trayectorias [7,8,46]. Con el propósito de encontrar la dirección del rayo reflejado r'' de la fig.III.4; es conveniente definir los vectores unitarios r , r'' y n en la dirección del rayo incidente, del reflejado y de la normal respectivamente. La dirección positiva de n es hacia fuera del reflector, la construcción geométrica mostrada también en la fig.III.4 indica que:

$$r'' - r = -2(n \cdot r) n \quad (III.53)$$

Para trazar el rayo, primero se debe encontrar el punto de incidencia en la superficie del reflector, que involucra información sobre la dirección del rayo incidente y la forma de la superficie. Después se debe encontrar la normal en el punto de incidencia en la superficie. Finalmente se encuentra la magnitud

DISEÑO DEL C.P.C. CON ABSORBEDOR CIRCULAR



ANALISIS OPTICO POR TRAZADO DE RAYOS

FIGURA III.4 SE MUESTRA COMO SE OBTIENE EL RAYO REFLEJADO AL PUNTO DE INCIDENCIA

y dirección del rayo reflejado . Este proceso se repite para analizar la traza de rayos con ángulos de incidencia dados. La secuencia de pasos en forma gráfica está dada en la fig.III.4.b.

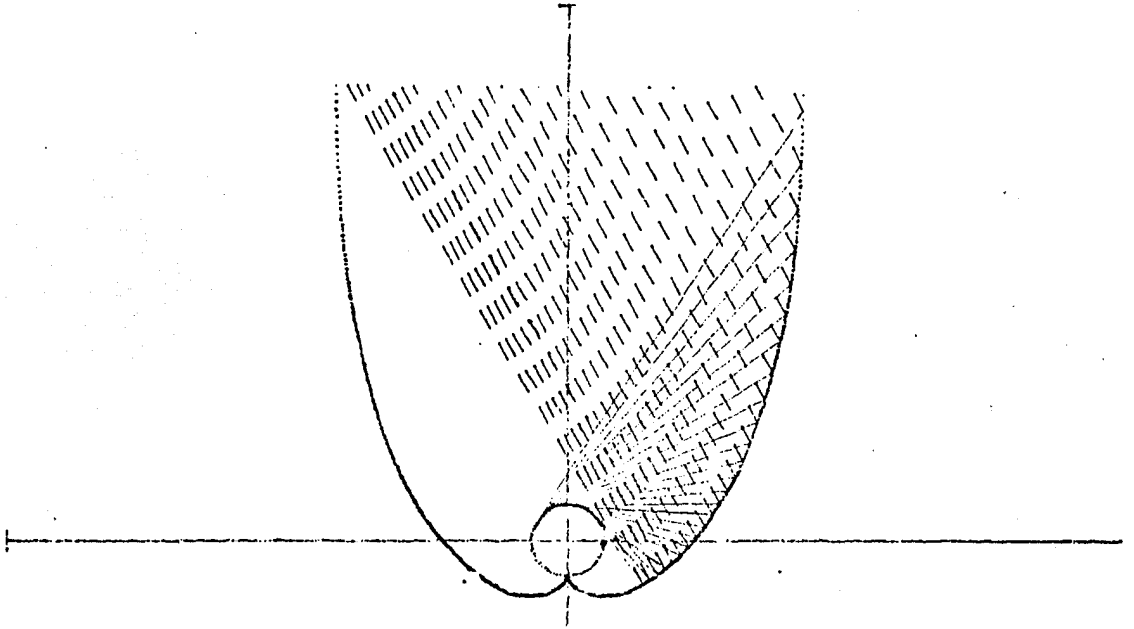
En las fig.III.5a,b,c,d se muestra el trazado de rayos para un ángulo de incidencia fijo y su secuencia para rayos paralelos y con diferentes ángulos de incidencia respectivamente.

En estas figuras se observa también cómo se lleva a cabo la concentración de la radiación incidente sobre el absorbedor. La fig. III.5a muestra el trazado de rayos, con el ángulo de incidencia igual al ángulo de diseño (θ_i). Se observa que todo los rayos son reflejados hacia el absorbedor, incidiendo tangencialmente, tal como era de esperarse según el diseño (ver sección III.2). Debe notarse también que la radiación se encuentra en la parte superior del absorbedor, cubriendo un arco de longitud igual a $2\theta_i$.

En la fig.III.5b la cual se realizó con un ángulo de incidencia de 10 grados menor que el ángulo de diseño, se observa que los rayos al incidir en la superficie del espejo son reflejados sobre una región más reducida del absorbedor. Esto es, la región de alta intensidad de radiación es menor que para el caso donde el rayo incidía con un ángulo igual al de diseño.

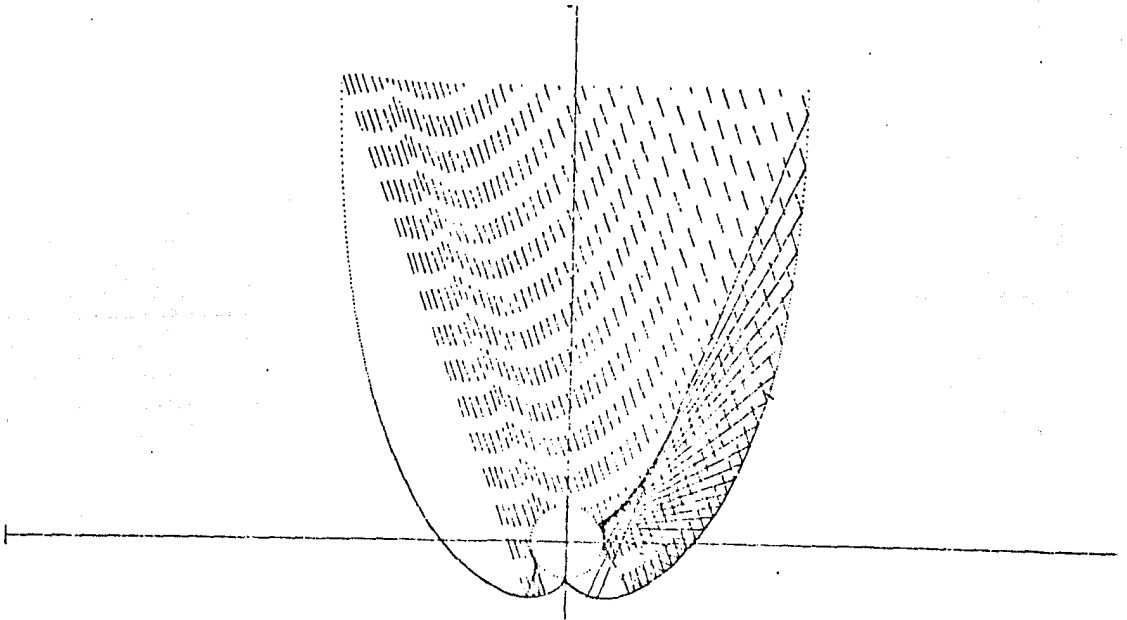
En la fig.III.5c el trazado de rayos se hizo con un ángulo de incidencia 20 grados menor que el de diseño. Se ve que los rayos inciden en el absorbedor de la zona izquierda de la involuta con una reflexión, pero en la zona derecha de la involuta llegan

DISEÑO DEL C.P.C. CON ABSORBEDOR CIRCULAR



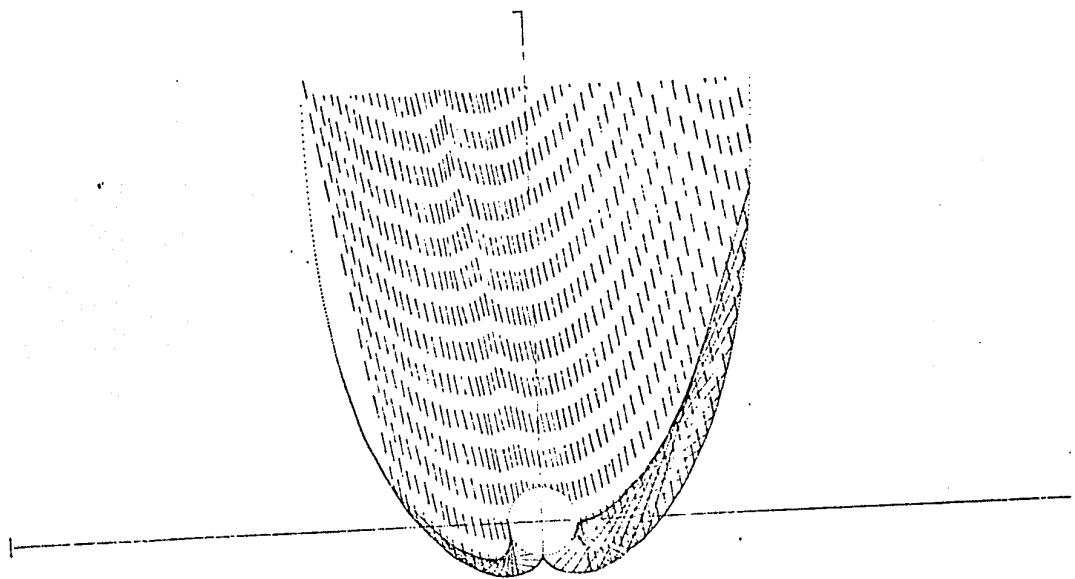
ANALISIS OPTICO POR TRAZADO DE RAYOS
FIGURA III.5a ANALISIS OPTICO CON RAYOS INCIDENTES CON UN ANGULO IGUAL A θ_1

DISEÑO DEL C.P.C. CON ABSORBEDOR CIRCULAR



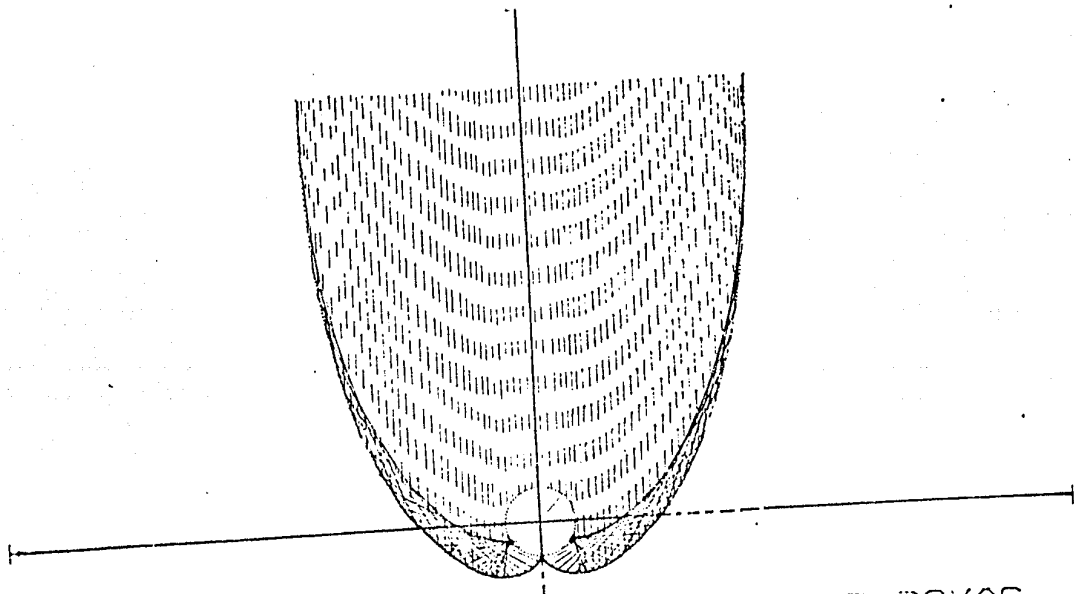
ANALISIS OPTICO POR TRAZADO DE RAYOS
FIGURA III.5b RAYOS INCIDENTES CON UN ANGULO DE $\theta_1 - 10^\circ$

DISEÑO DEL C.P.C. CON ABSORBEDOR CIRCULAR



ANÁLISIS OPTICO POR TRAZADO DE RAYOS
FIGURA III.5c TRAZADO DE RAYOS CON ANGULO DE INCIDENCIA $\theta_1 - 20^\circ$

DISEÑO DEL C.P.C. CON ABSORBEDOR CIRCULAR



ANÁLISIS OPTICO POR TRAZADO DE RAYOS
FIGURA III.5d ANÁLISIS OPTICO DE LA SUPERFICIE DEL CONCENTRADOR CON RAYOS QUE INCIDEN PARALELOS AL EJE OPTICO

al absorbedor después de dos reflexiones, los rayos que inciden sobre la superficie de la parábola derecha se concentran en una región muy reducida del absorbedor localizada en la región inferior después de una reflexión.

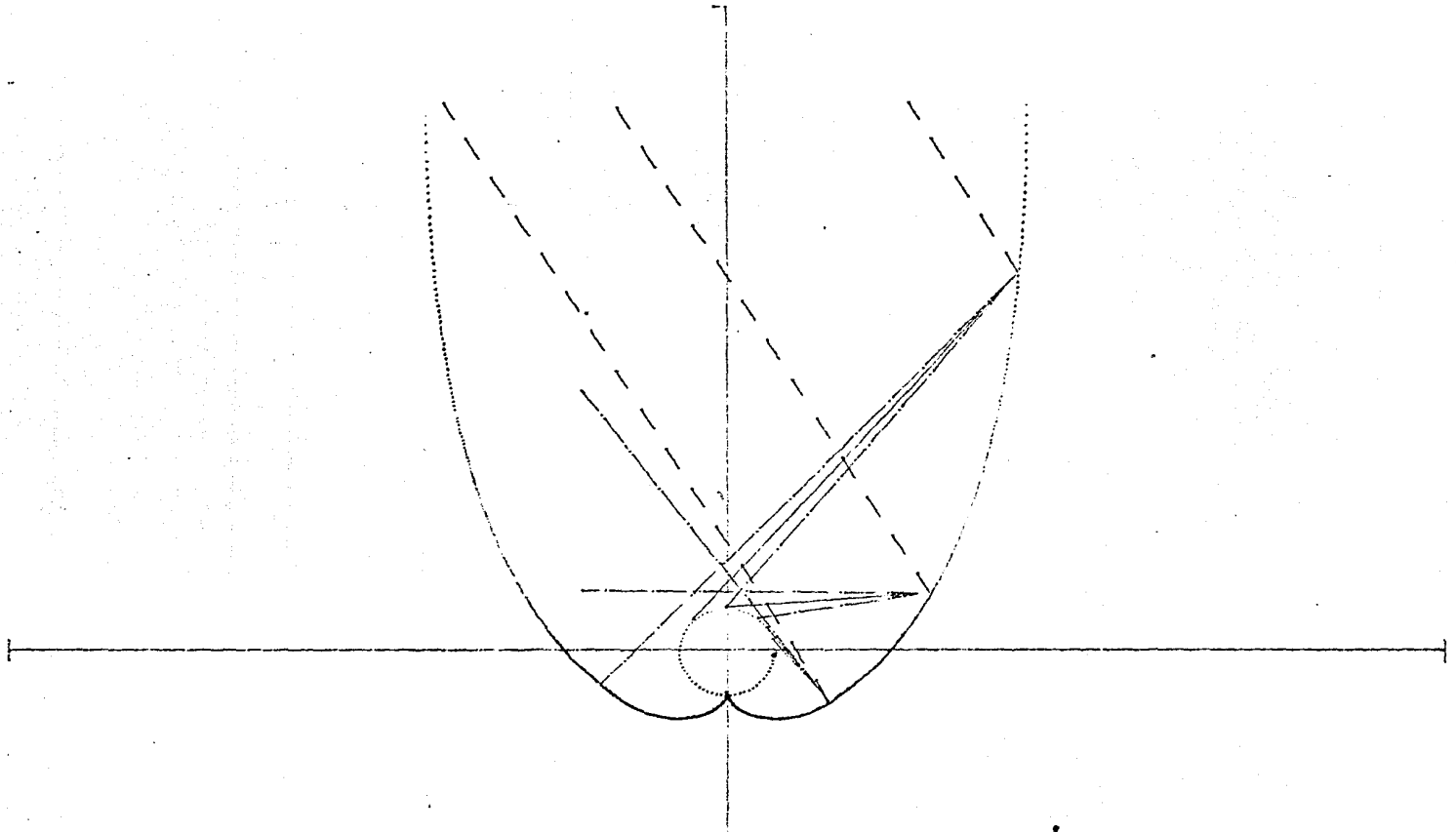
La fig. III.5d se obtuvo considerando rayos verticales, es decir, rayos paralelos al eje óptico. En esta figura se observa que los rayos inciden en el absorbedor después de cero, una, dos o tres reflexiones dependiendo de la altura sobre la superficie del reflector donde incida el rayo. Si el rayo incide en la zona intermedia de la parábola se tendrán dos reflexiones, mientras que aquellos que incidan sobre la parte inferior de la parábola ó sobre la involuta sufrirán sólo una reflexión. La densidad de concentración máxima se presenta en una zona casi puntual localizada simétricamente a $\pm \theta_i / 10$ del absorbedor.

El análisis anterior de trazado de rayos se realizó bajo la suposición de que la superficie del espejo es perfecta. Esto es que no tiene rugosidad alguna. Esta suposición es errónea, porque, todo material tiene una rugosidad característica en su superficie reflejante (ver tabla III.1).

Con estos antecedentes se procedió a realizar el trazado de rayos, ahora considerando un factor de error en el ángulo de reflexión. El factor será función de la rugosidad de la superficie reflejante.

La fig. III.6 muestra un ejemplo de trazado de rayos considerando el factor de error de $d\theta = \pm 5$ grados. El valor real de $d\theta$ puede evaluarse experimentalmente con técnicas fotográficas.

DISEÑO DEL C.P.C. CON ABSORBEDOR CIRCULAR



ANALISIS OPTICO POR TRAZADO DE RAYOS

FIGURA 6 ANALISIS DEL EFECTO DEL ERROR DEL ESPEJO RAYO CON ERROR

T A B L A I I I . 1

MATERIAL	SUPERFICIE	REFLECTANCIA TOTAL EN %
Acero inoxidable pulido a		
espejo	1'	84.0
Acrilico aluminizado	2'	79.1
Aluminio anodizado	1'	77.2
Aluminio maylar	1'	81.0
Aluminio pulido	1'	72.6
Epoxi de aluminio	1'	86.6
Teflon aluminizado	2'	83.9
Vidrio aluminizado	1'	87.5
	2'	80.7
Vidrio plateado	1'	90.1
	2'	82.8
y cubierto con resina	1'	88.3

Tabla obtenida en el intervalo del espectro de 0.3 - 0.2 μ m e integrada sobre la distribución espectral de la radiación solar Raymond, M. (6)

El análisis de la fig.III.6 pone de manifiesto que debido a la rugosidad del espejo, una cantidad de radiación que debió haber sido concentrada en el absorbedor nuevamente es desviada hacia el espejo, pero que cierta fracción de esta radiación incide en el absorbedor. En consecuencia la radiación total sobre el absorbedor es menor, puesto que a mayor número de reflexiones del haz luminoso sobre el reflector, menor será la radiación sobre el absorbedor.

III.4.- Definición de la Relación de Concentración Teórica Máxima y su Relación con el ángulo de Incidencia Máxima (θ_i).

En esta sección se presentará la evaluación de la máxima concentración permisible por la segunda ley de la termodinámica, para un sistema tridimensional siguiendo la presentación de Rabl [8].

Definimos concentración, como el área de captación de radiación solar (A) dividida por el área de aceptación del absorbedor (A'), también llamada apertura de salida de la radiación solar. En símbolos:

$$C = \frac{A}{A'} \quad (\text{III.54})$$

El problema fundamental de concentrar radiación puede

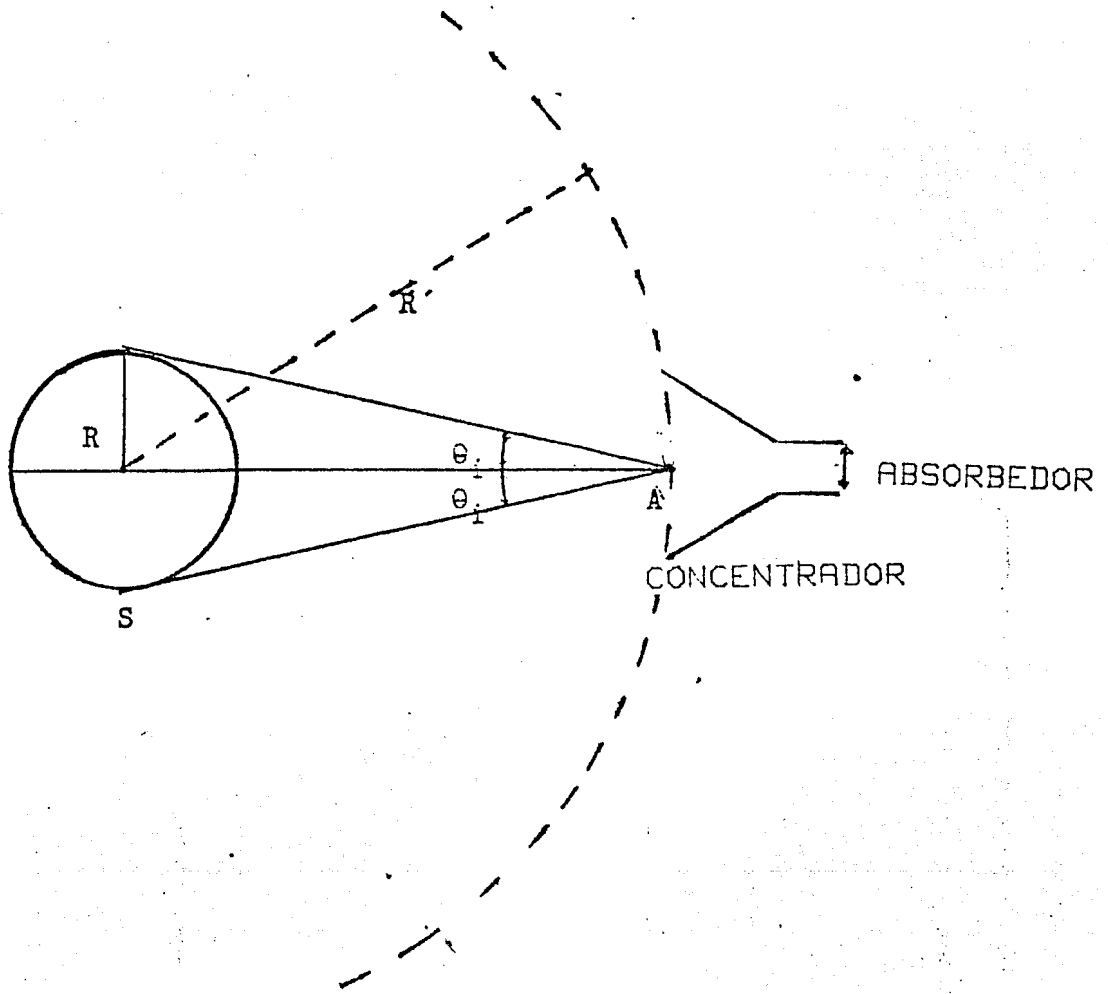


FIGURA III.7 MODELO SIMPLIFICADO PARA ENCONTRAR LA MAXIMA CONCENTRACION TEORICA PERMISIBLE POR LA SEGUNDA LEY DE LA TERMODINAMICA.

establecerse como sigue: ¿Cómo una radiación, uniformemente distribuida sobre un intervalo de ángulos entre $\theta/\leq \theta_i/$ incidiendo sobre un área de apertura de entrada (A), puede ser concentrada sobre una pequeña área del absorbedor (A') y con ello obtener la máxima concentración permisible T .

La relevancia de la segunda ley de la Termodinámica para este problema es clara, ya que incluye la transferencia de calor por radiación entre dos superficies, éstas son la fuente de radiación y la del absorbedor.

Para analizar el planteamiento del problema tomaremos el caso simple del modelo mostrado en la fig.III.7 Se considera que la fuente es una esfera de radio R mientras la apertura del concentrador tiene un área A normal a la línea de la fuente. La distancia entre la fuente y la apertura del absorbedor es R' . Si tomamos el límite A/R' que tiende a cero se obtendrá $\sin \theta_i = R/R'$. Una simplificación adicional consiste en suponer que el sistema está en el espacio vacío o bien, dentro de una caja cerrada con paredes negras a temperatura igual a cero grados absolutos. Se considera también que el medio que circunda al absorbedor tiene un índice de refracción igual a la unidad.

Si fuente y absorbedor son cuerpos negros a temperatura T_b y T_a respectivamente, la transferencia de calor entre ambos se calcula.

La fuente emite una cantidad de radiación y se evalúa como:

$$Q_s = 4\pi R^2 \sigma T_s^4 \quad (\text{III.55})$$

donde σ es la constante de Stefan-Boltzman con el valor de $5.57 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}$, π es una constante de valor 3.1416 y T_s es la temperatura absoluta de la fuente.

De esta energía emitida sólo una fracción es recibida por el absorbedor, esto es:

$$F_{s-a} = \frac{A}{4\pi R'^2} \quad (\text{III.56})$$

Por lo tanto la energía transferida de la fuente al absorbedor es:

$$Q_{s-a} = Q_s * F_{s-a} = A (R'^2/R'^2) \sigma T_s^4 \quad (\text{III.57})$$

El absorbedor emite a su vez una cantidad de radiación dada por:

$$Q_a = A_a * \sigma * T_a^4 \quad (\text{III.58})$$

La radiación transferida desde el absorbedor a la fuente puede evaluarse como:

$$Q_{a-s} = F_{a-s} * A_a * \sigma * T^4 \quad (\text{III.59})$$

donde F_{a-s} es la fracción de energía que llega de la superficie del absorbedor a la fuente, la fracción siempre es menor que la unidad esto es:

$$F_{a-s} \leq 1 \quad (\text{III.60})$$

De la segunda ley de la termodinámica, se tiene que no se puede transferir calor entre dos cuerpos de igual temperatura, por lo que para el presente caso implica:

$$Q_{s-a} - Q_{a-s} = 0 \quad \text{si } T_s = T_a \quad (\text{III.61})$$

igualando las ecuaciones III.57, III.59, III.61 se obtiene:

$$A (R^2 / R'^2) = F_{a-s} A_a \quad (\text{III.62})$$

recordando la definición de concentración de la ec. III.54 y tomando la ec. III.62 llegamos a:

$$C = A / A_a = (R'/R) F_{a-s} = F_{a-s} / \text{sen}^2 \theta_i \quad (\text{III.63})$$

de acuerdo a la condición de la ecuación III.60, se concluye que la concentración puede ser satisfecha como:

$$C \leq 1 / \text{sen}^2 \theta_i \quad (\text{III.64})$$

Este resultado fué derivado para una geometría completamente general en tres dimensiones. Para el caso bidimensional se emplearía un procedimiento parecido en donde el sol se consideraría como una fuente bidimensional y al resultado que se llegaría es:

$$C \leq 1 / \text{sen} \theta_i \quad (\text{III.65})$$

Si ahora se considera el medio que circunda al absorbedor con un índice de refracción diferente a la unidad, entonces, la radiación incidente sobre el absorbedor es completamente difusa, el interior del colector será restringido a ángulos $\theta_i \leq \theta_{ci}$ donde $\sin \theta_{ci} = 1/n$ esto se establece por la ley de Snell'.

Entonces la concentración adicional esta dada como $1/\sin^2 \theta_{ci} = n^2$ relacionando este resultado con la ecuación III.64, resulta que la concentración total es:

$$C \leq n^2 / \sin^2 \theta_i \quad (\text{III.66})$$

Para el caso bidimensional se tendrá:

$$C \leq n / \sin \theta_i \quad (\text{III.67})$$

fijando así las concentraciones máximas permisibles por la segunda ley de la termodinámica para los casos de concentrador tridimensional y bidimensional en medios con índice de refracción igual a la unidad y para casos en que éste es diferente a la unidad.

III.5 Análisis del Concentrador Parabólico Compuesto Truncado

El C.P.C. tiene como principal desventaja que requiere un área de reflexión muy grande para una área de apertura de salida dada. Naturalmente esto es de gran importancia económica en aplicaciones a gran escala tales como en las de energía solar.

Afortunadamente el problema no es demasiado serio, porque se puede cortar una porción apreciable del reflector sin que con ello disminuya el área de apertura de entrada, la relación de concentración, o su eficiencia térmica y óptica, de manera apreciable [8,9]. En aplicaciones prácticas un C.P.C. siempre deberá ser truncado por razones económicas. Obviamente, existen límites a partir de los cuales el truncamiento dará por resultado una reducción drástica en las propiedades del C.P.C. En la fig.III.8a se muestra la altura como función de la concentración. En la fig.III.8b se muestra la relación de reflector entre apertura como función de la concentración. Se observa en estas graficas el efecto de truncación. El truncamiento óptimo será entonces un compromiso entre la mínima área y la menor reducción en las propiedades del concentrador. En ocasiones la magnitud del truncamiento obedecerá no sólo a las consideraciones anteriores sino también a una aplicación en particular. Así por ejemplo, si se quiere construir un tubo evacuado tipo C.P.C. en donde el tubo mismo

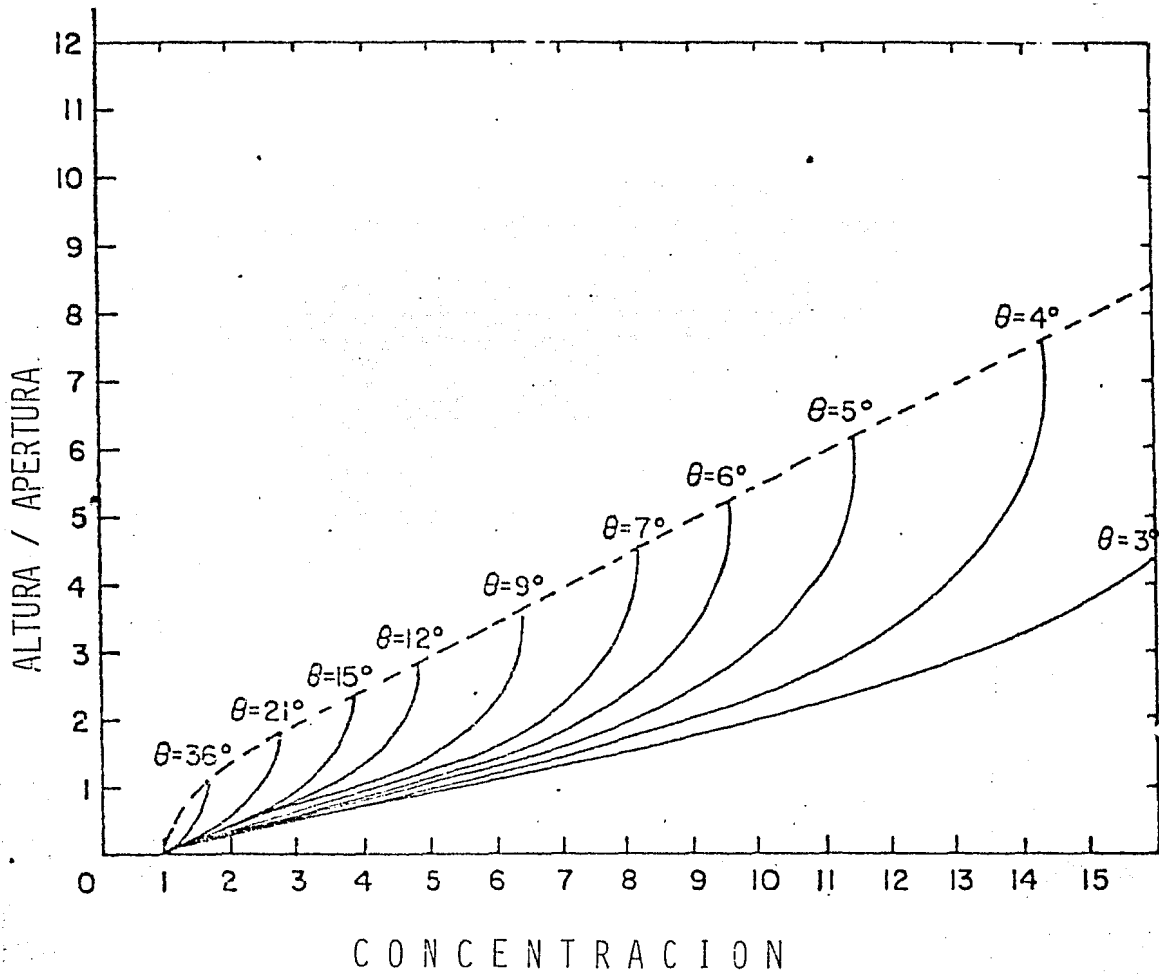


FIGURA III.8A RELACION ALTURA/APERTURA PARA EL C.P.C. COMPLETO Y TRUNCADO

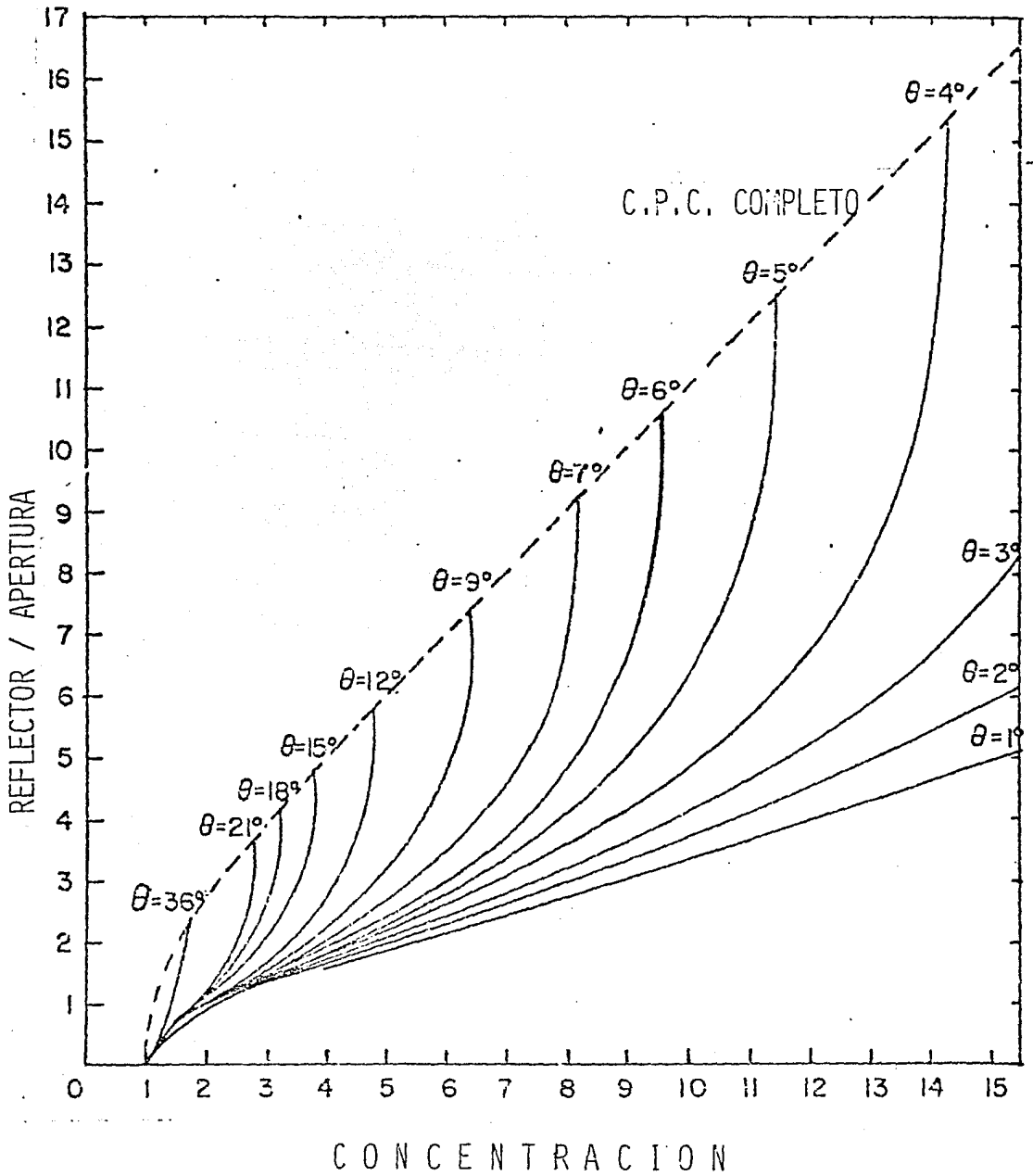


FIGURA III.8B RELACION REFLECTOR/APERTURA PARA EL C.P.C. COMPLETO Y TRUNCADO TOMADA DE RABL, A. (4)

contenga el perfil del concentrador, se tendrá que truncar de acuerdo al diámetro de tubo que se establezca para el diseño. Por consiguiente la truncación es un punto de gran importancia, que se analizará en detalle en esta sección.

Se tomó para el efecto de análisis el sistema de coordenadas polares (r, θ) , mostrado en la fig.III.9. Denotaremos a las variables del C.P.C. truncado con un apóstrofe " ' " .

La Relación de concentración del C.P.C. truncado (C') está dada por:

$$C' = 1 / \sin (\theta_i') \quad (III.69)$$

donde θ_i' es el ángulo máximo de apertura para el concentrador truncado.

La longitud de apertura de entrada en el concentrador truncado (L'), es igual a:

$$L' = 2 * \pi * r / \sin (\theta_i') \quad (III.70)$$

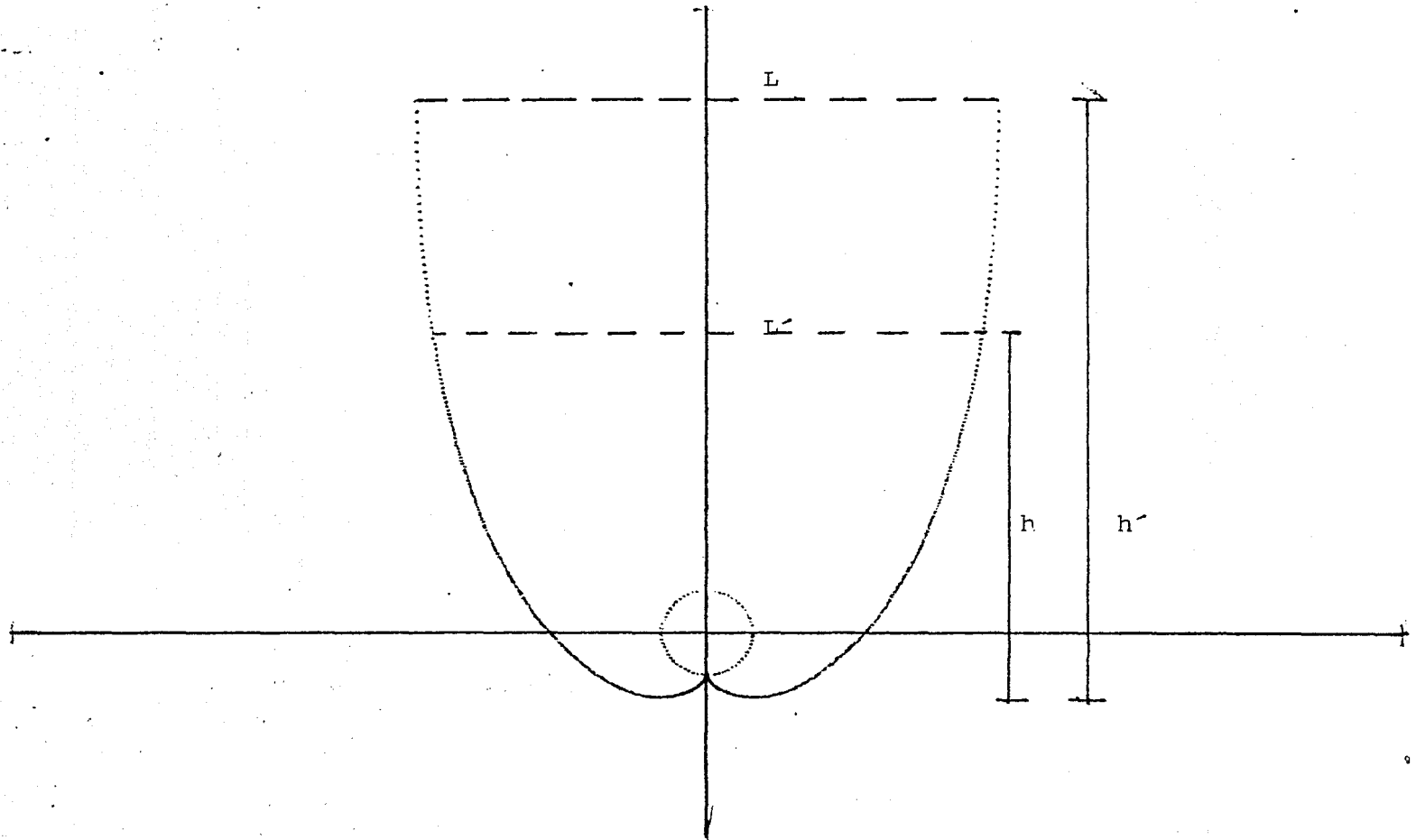
donde: r es el radio del absorbedor.

La altura del C.P.C. se encuentra en dos pasos simples.

Primer paso. Consiste en encontrar el mínimo de la concavidad del contorno del C.P.C. así como las coordenadas del punto evaluada para el ángulo máximo (θ_{max}).

Para encontrar el mínimo en la concavidad del C.P.C. se derivan las funciones que describen el contorno del C.P.C. o sea

DISEÑO DEL C.P.C. COMPLETO



ANALISIS DEL CPCC TRUNCADO

FIG: III. 9 SISTEMA PARA DEMOSTRAR EL ANALISIS DEL C:P:C: TRUNCADO

las ecuaciones III.32, III.33, despues de lo cual se igualan a cero, expresando esto en forma matemática como:

$$dF(X,Y) / d\theta = 0 \quad (\text{III.71})$$

con esto se encuentran las coordenadas del punto mínimo (X_{\min} , Y_{\min}) en la concavidad del C.P.C.

La función del C.P.C. se evalua con el ángulo máximo (θ_{\max}) del parámetro T y se encuentran las coordenadas (X_{\max} , Y_{\max}) para el caso en el que el reflector es completo ó truncado.

El segundo paso para encontrar la altura del C.P.C. es sumar los valores obtenidos de Y_{\min} mas Y_{\max} , así finalmente se tiene la altura del concentrador completo como:

$$h = Y_{\max} + Y_{\min} \quad (\text{III.72})$$

y la altura para el C.P.C. truncado:

$$h' = Y_{\max}' + Y_{\min}' \quad (\text{III.73})$$

Por último se encuentra la relación de altura (R_h), del C.P.C. truncado con respecto al C.P.C. completo, como:

$$R_h = h' / h \quad (\text{III.74})$$

III.6 Programa de Computadora para el análisis del C.P.C.

Los valores de las funciones que describen el C.P.C. en dos dimensiones fueron evaluadas y los valores obtenidos graficados en una computadora H.P. serie 9000 modelo 216, y también en este programa se evalúan algunas de las características del C.P.C. El listado del programa se muestra en el anexo I. El algoritmo de éste se representa en la fig.III.10. El programa consta de las siguientes seis partes:

a.- En la primera parte se evalúan las funciones que describen el contorno del C.P.C. para después realizar la grafica a través del plotter para este fin.

Se presenta la serie de gráficas que ilustran las diversas tres curvas que componen el diseño del concentrado, en estas graficas se resalta el hecho de que el C.P.C. no es simétrico con respecto a sus ejes de cada curva. En las fig.III.10a y III.10b. se observan a las parabolás inclinadas θ grados con respecto al eje óptico. La espiral de la fig.III.11 solo el inicio de esta forma parte de lo que se definió como involuta. Finalmente superponiendo las tres curvas, con los límites de validez de cada función como se estableció en la sección III.2 Se obtiene como resultado el perfil del C.P.C. en dos dimensiones con alrededor de sección transversal circular.

También en esta parte del programa se evalúan las coordenadas del punto donde el C.P.C. es truncado de acuerdo a los criterios ya mencionados, así como la altura y ancho del

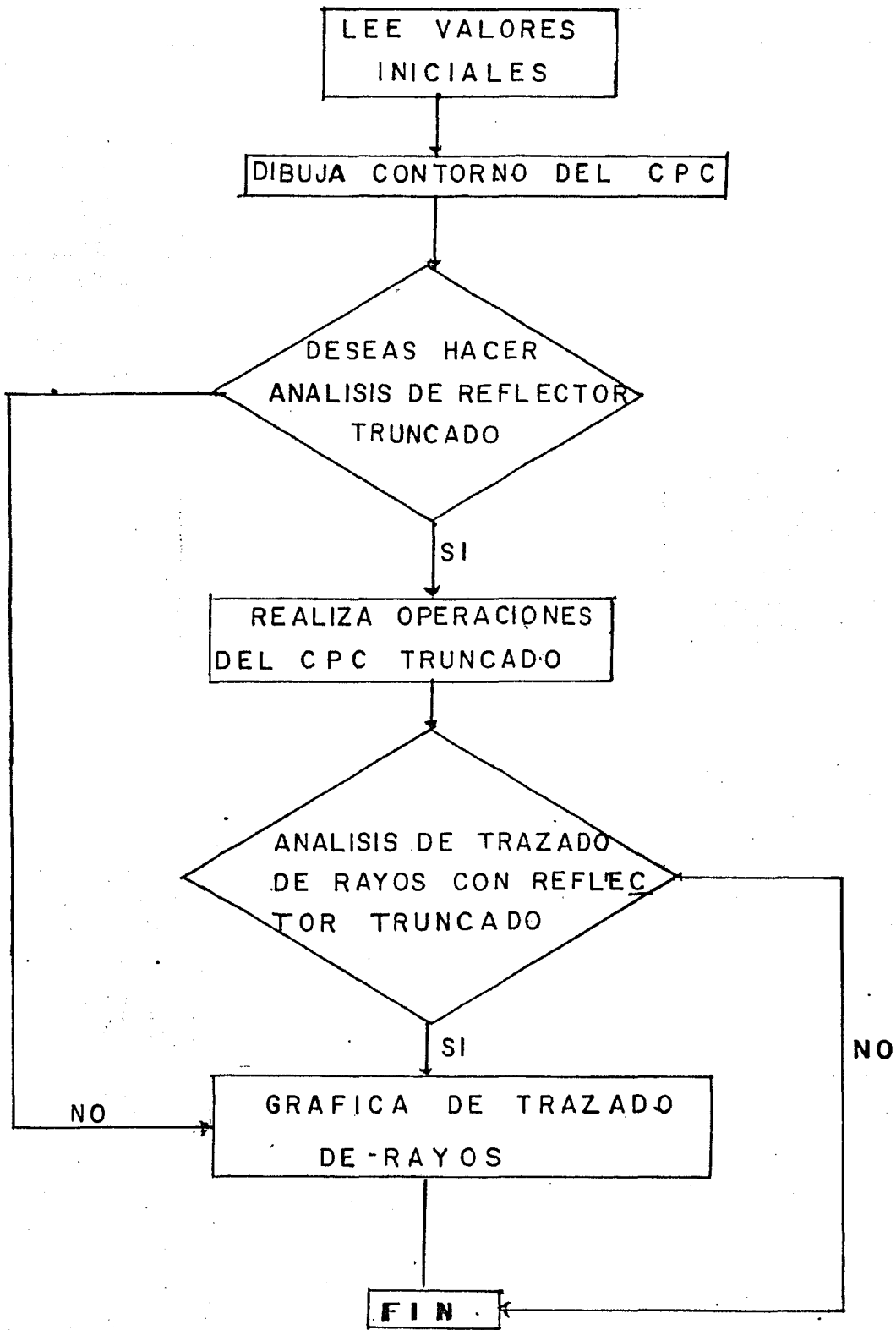
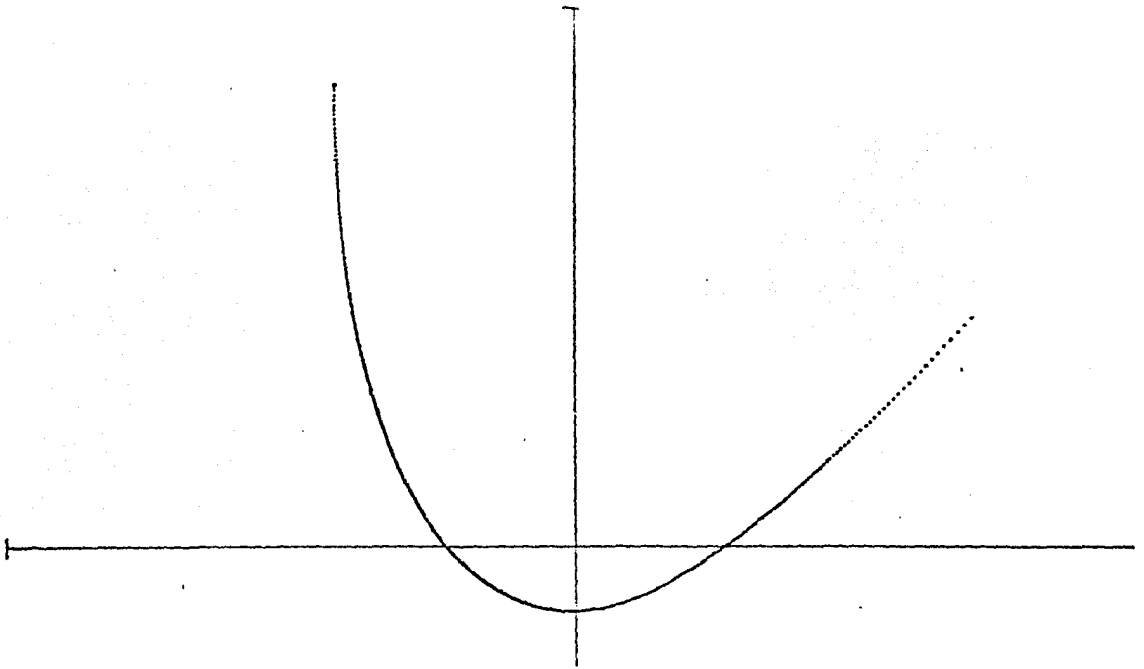


FIGURA III.9 ALGORITMO DEL PROGRAMA DEL CPC

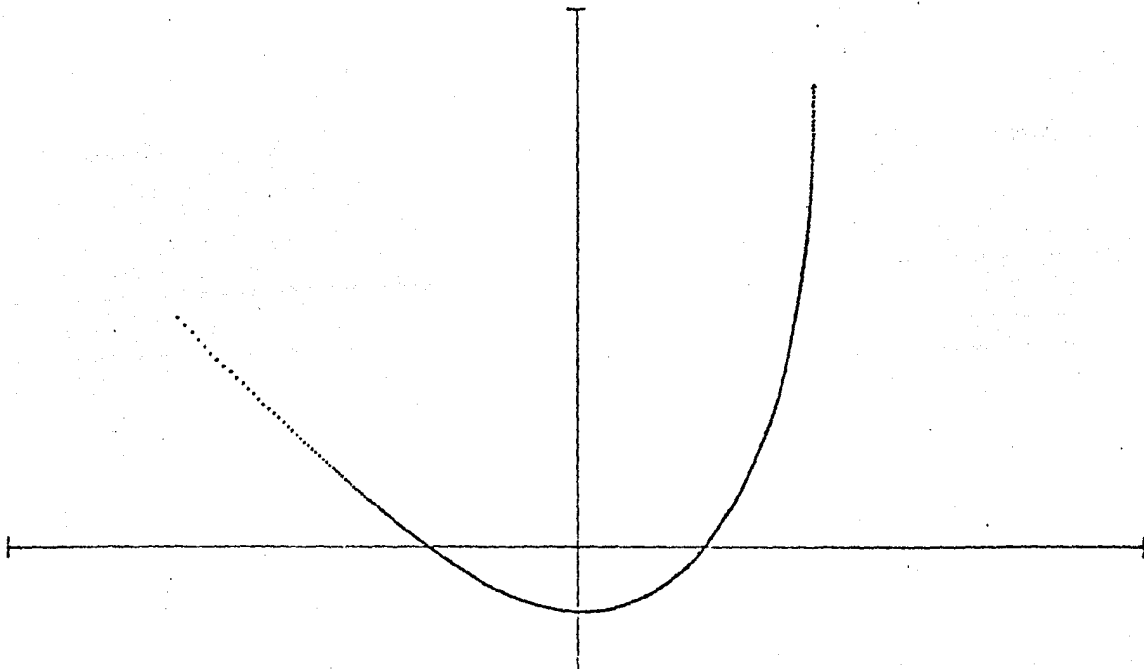
ORIGEN DEL DISEÑO DEL C.P.C.



PARABOLA IZQUIERDA

FIGURA.III.10b PARABOLA DEFASADA - θ_1 RESPECTO AL EJE OPTICO

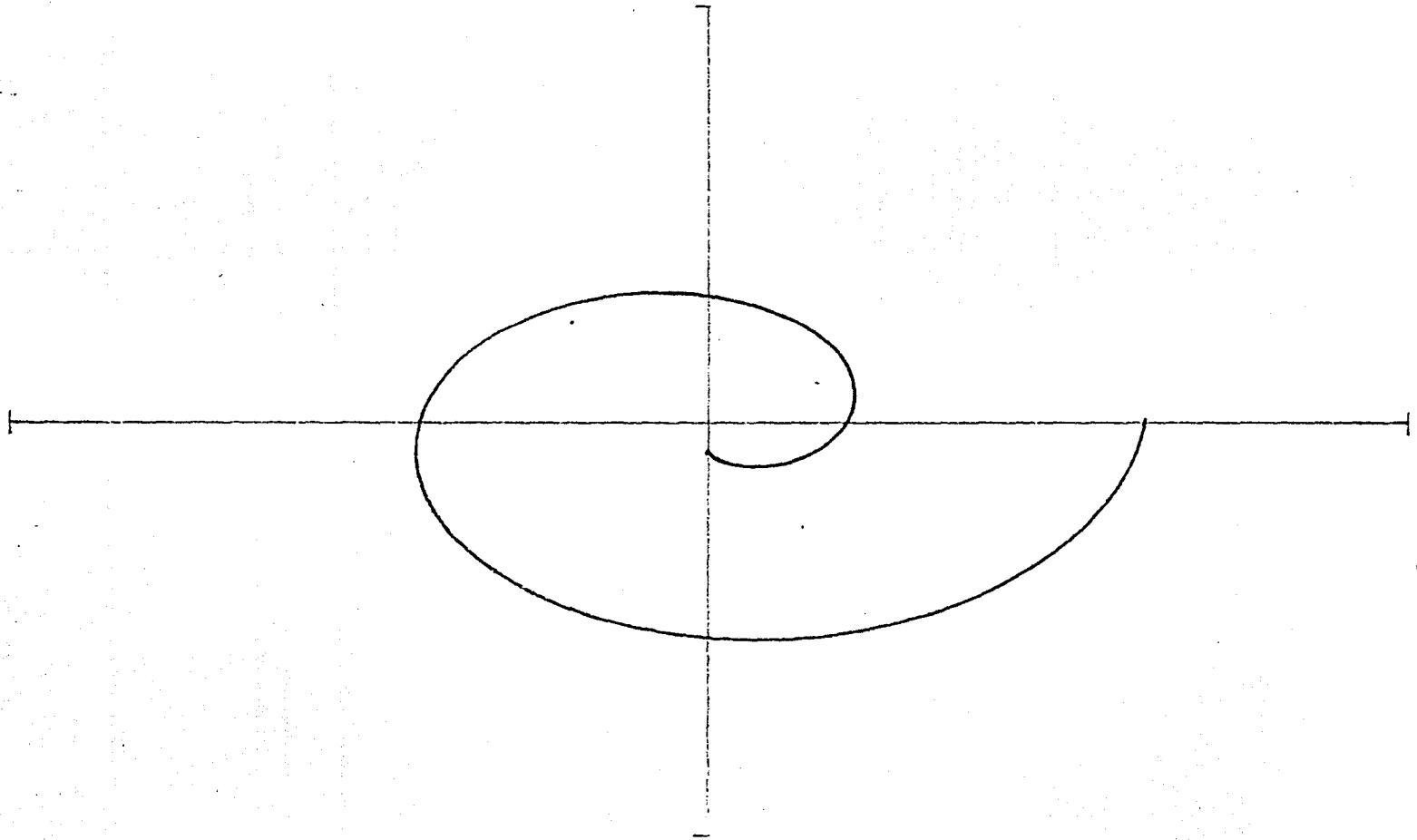
ORIGEN DEL DISEÑO DEL C.P.C.



PARABOLA DERECHA

FIGURA.10a PARABOLA DEFASADA θ_1 RESPECTO AL EJE OPTICO

ORIGEN DEL DISEÑO DEL C.P.C.



INVOLUTA

FIGURA III.11 MUESTRA LA ULTIMA CURVA DE QUE ESTA CONSTITUIDO EL C.P.C.

reflector completo y truncado.

b.- La segunda parte evalúa el contorno del absorbedor.

En esta parte del programa se le dan las ecuaciones en coordenadas polares para obtener el contorno del absorbedor de sección transversal circular;

$$X = \text{radio} * \cos \theta_r \quad (\text{III.75})$$

$$Y = \text{radio} * \sin \theta_r \quad (\text{III.76})$$

donde θ_r es el ángulo comprendido entre 0 y 360 grados, radio es el radio del absorbedor.

c.- La tercera parte evalúa las coordenadas del punto donde el rayo incide en el perfil del concentrador.

Se encontraron las coordenadas donde el rayo incidente se intersectaba con el perfil del C.F.C. Primero con el método de Newton-Raphson, el resultado que reportaba era correcto pero no pertenecía al perfil del concentrador, esto parecerá ser contradictorio, pero analizando las ecuaciones y recordando que éstas no son univaluadas como se mostró en las figuras III.10.a, III.10.b y III.11, el programa encontraba el primer punto donde se intersectaba el rayo con puntos que se generan con las ecuaciones que describen no solo el contorno del perfil. En general este resultado no es único. Este método se descartó y se utilizó un artificio que consiste en evaluar las funciones que

describen el contorno del concentrador en un punto inicial.

d.- La cuarta parte evalúa la derivada de las funciones en el punto donde el rayo intersecta al espejo, obteniendo la pendiente de la recta tangente que pasará por ese punto.

e.- La quinta sección encuentra la pendiente de la recta normal a la tangente del punto en cuestión, usando la relación.

$$df' / d\theta = -1 / (df / d\theta) \quad (\text{III.77})$$

donde f y f' son las pendientes de dos rectas ortogonales.

f.- En la sexta parte se obtiene el ángulo entre la recta normal a la tangente y el rayo incidente, así como el ángulo del rayo reflejado con respecto al eje "X" positivo, y su desviación positiva o negativa causada por el factor de error en el espejo.

Se conoce que el ángulo entre dos rectas está dado por:

$$\alpha = \arctan [(M - N_t) / (1 + M * N_t)] \quad (\text{III.78})$$

donde α es el ángulo entre la recta normal en el punto donde incidió el rayo en la curva y el rayo incidente. M es la pendiente del rayo incidente y N_t es la pendiente de la recta normal. Este ángulo es referido a el eje "X" positivo, por una relación de triángulos como lo muestra la fig.III.12 se

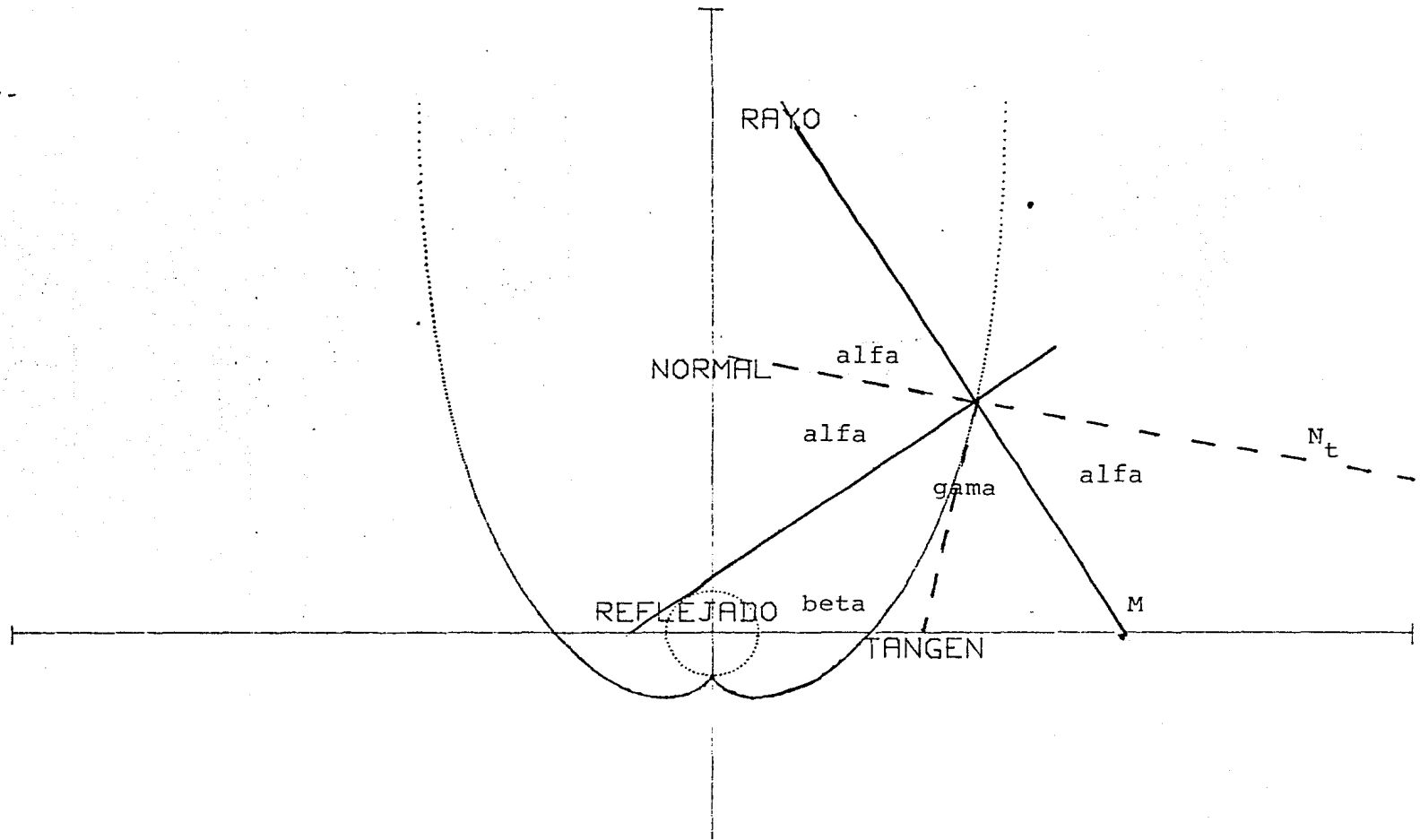
encuentra el valor de beta como:

$$\beta = m + 2 * \alpha - \pi$$

(III.79)

con esto se termina el cálculo del trazado de rayos con espejo perfecto. La parte final del programa introduce el factor de error del espejo esto se logra incrementando o decrementando la pendiente del rayo reflejado.

DISEÑO DEL C.P.C. CON ABSORBEDOR CIRCULAR



ANALISIS OPTICO POR TRAZADO DE RAYOS

FIGURA III.12 ANALISIS DE ANGULOS PARA OBTENER EL ANGULO DEL RAYO REFLEJADO CON RESPECTO A EL EJE X POSITIVO

IV PROPIEDADES TERMICAS DEL CONCENTRADOR PARABOLICO COMPUESTO

IV.1.- Winterberger y Winston [1], Rabl [5,9] y Sevcik y Rabl et.al. [4] han descrito las características ópticas y Térmicas del colector, de acuerdo a los postulados de estos autores, se realizará el presente estudio.

Los cambios de energía entre el absorbedor, reflector y área de apertura de entrada del colector son muy complejas, porque en ellos se incluyen intercambios por radiación y convección entre las tres superficies. El análisis mostrado en este capítulo es un estudio muy simplificado de estos fenómenos de transferencia de calor. La convección libre y forzada se analizarán a partir de relaciones empíricas.

Flujos de calor que se presentan en el C.P.C.

Se distinguen tres mecanismos de transferencia de calor en el C.P.C. estos son:

- 1.- Transferencia de calor por Radiación.
- 2.- Transferencia de calor por Conducción.
- 3.- Transferencia de calor por Convección.

El mecanismo de conducción tiene un caracter molecular e involucra la transferencia de energía de moléculas más

ANALISIS TERMICO DEL C.P.C.

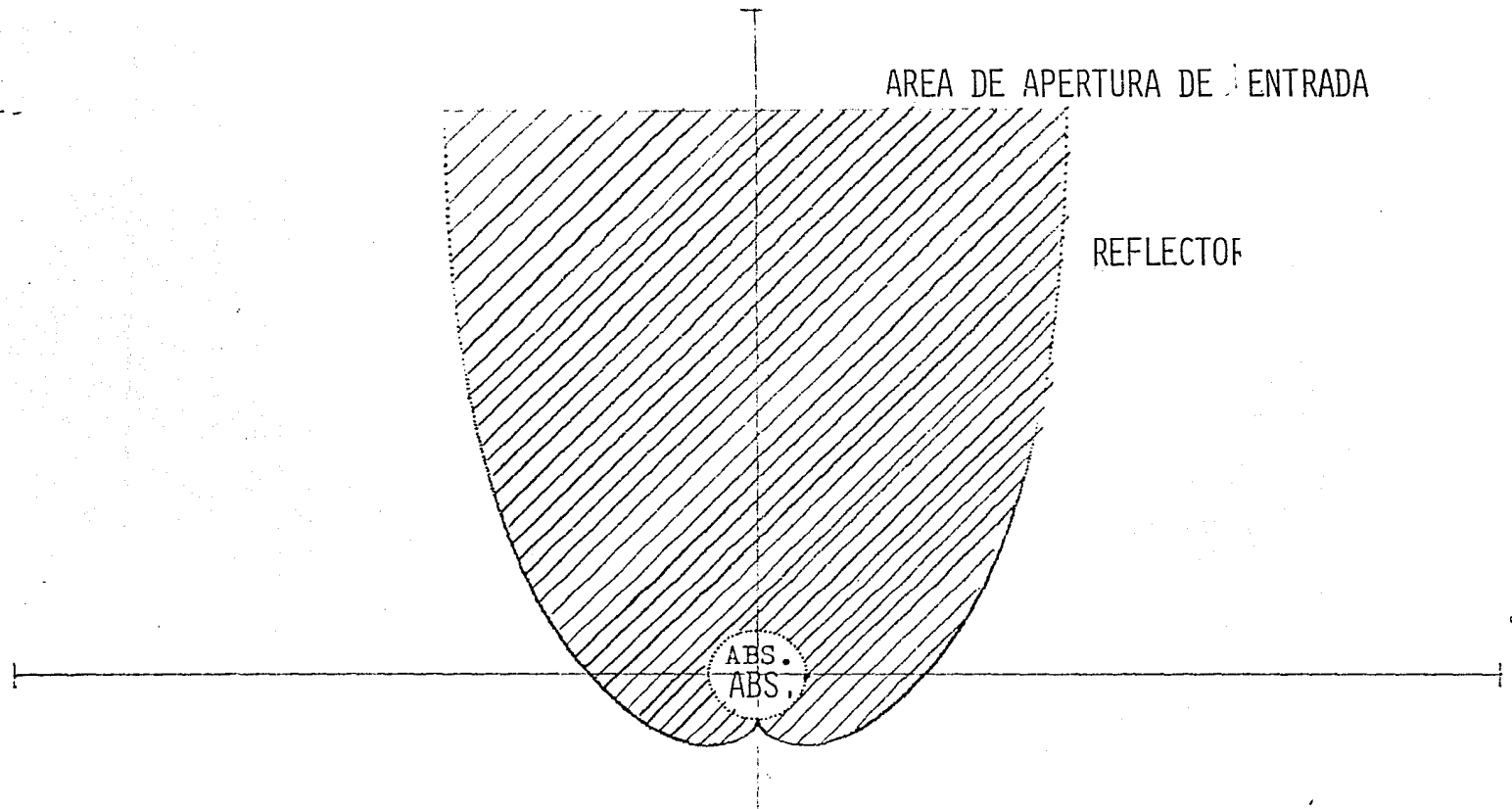


FIGURA IV.1 ANALISIS TERMICO ENTRE LA AREA SOMBREADA, ABSORBEDOR Y MEDIO AMBIENTE

energéticas a moléculas menos energéticas, en este mecanismo no se consideran movimientos macroscópicos de masa.

La radiación térmica es la radiación electromagnética emitida por un cuerpo debido a su temperatura, este mecanismo no requiere de ningún medio para transportar la energía.

El mecanismo de transferencia de calor por convección se presenta entre paquetes de moléculas y por consiguiente ocurre con transferencia de masa.

Para determinar las propiedades térmicas del C.P.C. tomaremos a la figura IV.1 la cual muestra un corte transversal.

Para el análisis se considera el índice de refracción del medio que circunda al absorbedor igual a la unidad, esta consideración es razonable en aplicaciones fototérmicas ya que este medio es aire que tiene un índice de refracción cercano a la unidad. La pared del reflector será especular esto es tendrá un índice de reflexión igual a la unidad o sea una superficie perfectamente especular.

Bajo estas consideraciones tanto la transmisión de luz como la transferencia de calor por radiación a través del C.P.C. pueden ser determinadas por medio de una simple fórmula analítica. Se supone que la temperatura es uniforme a través de toda la superficie del absorbedor y que la absorción del absorbedor es independiente del ángulo de incidencia.

La transferencia de calor en el absorbedor está regida por cinco cantidades estas son:

- a) Absorbencia de superficie del absorbedor para la radiación solar directa.
- b) Absorbencia de superficie del absorbedor para la radiación difusa.
- c) Emitancia de superficie del absorbedor para radiación en el infrarrojo.
- d) Gasto másico del fluido de trabajo.
- e) Área de transferencia de calor del absorbedor.

IV.1 Los flujos de calor por unidad de área del absorbedor en el C.P.C. se describen a continuación.

- 1) Q_{rD} Energía absorbida por unidad de masa y de tiempo debido a la radiación solar directa ó después de reflexiones.
- 2) Q_{rD} Energía absorbida por unidad de masa y tiempo debido a la radiación solar difusa.
- 3) Q_{pr} Pérdidas de calor por radiación entre absorbedor y medio ambiente.
- 4) Q_{pc} Pérdidas de calor por convección entre el absorbedor y el medio ambiente.
- 5) Q_u Energía útil extraída por el colector.

La forma de evaluar cada uno de los flujos de energía antes mencionados es:

$$1) \quad Q_{rD} = I [\cos(i) \rho_m^r \alpha_a (1 + \rho_r)] \quad (IV.1)$$

$$\cos(i) = \sin(\delta_s) \sin(L - \theta) + \cos(\delta_s) \cos(L - \theta) \cos(h)$$

donde:

- I Es la insolación global recibida en el colector.
- h Ángulo después de una hora del medio día.
- L Latitud en donde se instale el colector.
- r Número promedio de reflexiones.
- α_a coeficiente de absorción del absorbedor en el UV.
- θ Declinación solar.
- δ_s Inclinação del colector respecto a la horizontal.
- ρ_r Reflectividad del absorbedor.
- ρ_m Reflectividad de la superficie del reflector.
- θ_i Ángulo de diseño.

$$2) \quad Q_{rd} = .36 Q_{rD} \quad (IV.2)$$

Esta relación fue tomada de Kreider y Kreit [57]

$$3) \quad Q_{pr} = eef \epsilon [(T_a^4 - T_{amb}^4)] \quad (IV.3)$$

donde:

Ta Temperatura promedio del absorbedor.

Tb Temperatura promedio de la área de apertura de entrada.

eef Emisividad efectiva.

σ Constante de Estefan-Boltzman $5.57 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$.

4) Pérdidas de energía por convección.

Para evaluar este mecanismo de transferencia de calor se harán las siguientes suposiciones: 1) La transferencia de calor por convección presenta solo en dos regiones, la que se encuentra sombreada en la fig.IV.1 esto es entre el absorbedor y el medio que lo circunda (A) y la región de la área de apertura y el medio ambiente (B). 2) Las temperaturas para evaluar los calores se tomarán como el promedio. 3) La transferencia de calor en ambas regiones es por convección natural.

A.- Para evaluar la cantidad de energía en la primera región tenemos:

$$Q_{pc1} = h_1 A_1 (T_a - T_c) \quad (\text{VI.4})$$

donde

A1 Área de transferencia de calor del absorbedor.

h1 Coeficiente de transferencia de calor por convección en la primera región

Ta Temperatura promedio del absorbedor

T_c Temperatura promedio a la altura de la apertura de entrada

Para una geometría general el coeficiente de transferencia de calor se evalúa como:

$$Nu = c (Gr Pr)^n \quad (IV.5)$$

$$Nu = (h_i L)/K \quad (IV.6)$$

$$Gr = g (T_a - T_c) L^3 / \nu^2 \quad (IV.7)$$

$$Pr = (\nu C_p) / K = 0.714 \quad (IV.8)$$

donde

c Es una constante que para flujo laminar es 0.53 y para flujo

turbulento es 0.13

g Aceleración de la gravedad

h coeficiente de transferencia de calor por convección

Gr Número de Grashof

L Diámetro del absorbedor

Nu Número de Nusselt

n Constante que para flujo laminar tiene el valor de 1/4 y para flujo turbulento 1/3

Pr Número de Prandtl

T_a Temperatura promedio del absorbedor

T_c Temperatura promedio a la altura de la área de apertura

B.- La transferencia de calor por convección del área de apertura hacia el medio ambiente es función de la velocidad y

dirección del viento. Considerando que la velocidad del viento es paralela al área de apertura de entrada del colector tenemos:

$$Q_{pc2} = h_2 A_2 (T_c - T_{amb}) \quad (IV.9)$$

donde para un flujo entre dos placas paralelas el coeficiente de transferencia de calor se evalúa como:

$$Nu_x = h_2(x) L / k = 0.332 Pr^{1/3} Re_x^{1/2} \quad (IV.10)$$

$$Re_x = (v L) / \alpha \quad (IV.11)$$

$$h_2 = 2 h_2(x) \quad (IV.12)$$

donde:

- A_2 Área de apertura del colector
- h_2 Coeficiente de transferencia de calor por convección particular
- h Coeficiente de transferencia de calor por convección entre las placas
- k Conductividad térmica del aire
- L Longitud del absorbedor

Para encontrar el valor del coeficiente debido a los dos tipos de pérdidas de calor por convección tenemos:

$$Q_{pc} = H_u A (T_a - T_{amb}) \quad (IV.13)$$

$$1/(H_u A) = 1/(h_1 A_1) + 1/(h A_2)$$

$$5) \quad Q_u = m C_p (T_f - T_i) \quad (IV.14)$$

donde:

- Cp Capacidad calorífica a presión constante del fluido de trabajo.
- m Gasto másico del fluido de trabajo
- Tf Temperatura del fluido a la salida del colector.
- Ti Temperatura del fluido a la entrada del colector

IV.2.- Balances de energía

El balance de energía para el absorbedor en terminos de ganancia y pérdidas de energía se plantean como siguen:

Balance de energía en el absorbedor.

$$Q_{rD} + Q_{rd} = Q_{pr} + Q_{pc} + Q_u \quad (IV.15)$$

Resolviendo estas ecuaciones en forma simultanea se encuentran los valores de, coeficientes de transferencia de calor por convección, emisividad efectiva y el calor útil.

La solución de estas ecuaciones se presenta en el capítulo de análisis de resultados en donde se plantean éstas para los casos típicos de los experimentos realizados.

V EQUIPO EXPERIMENTAL

El C.P.C. que se construyó para caracterizar, se muestra en la fig.V.1.

El equipo en general se puede dividir en tres grupos, estos son:

- V.1.- Colector
- V.2.- Sistemas Auxiliares
- V.3.- Instrumentación

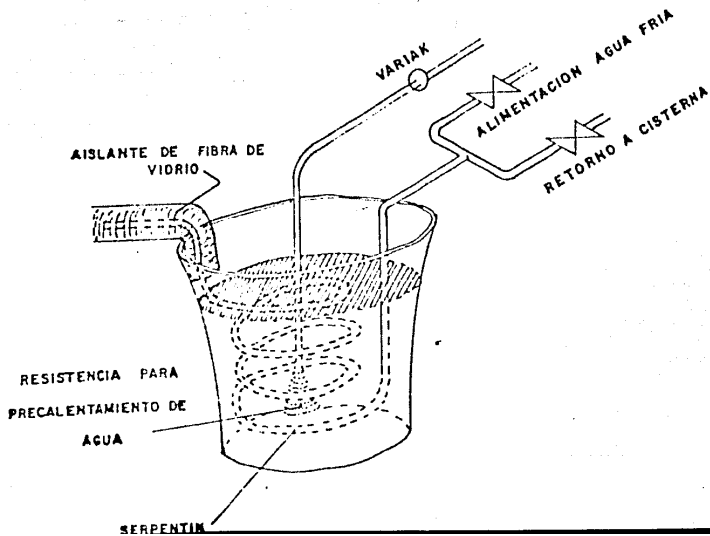
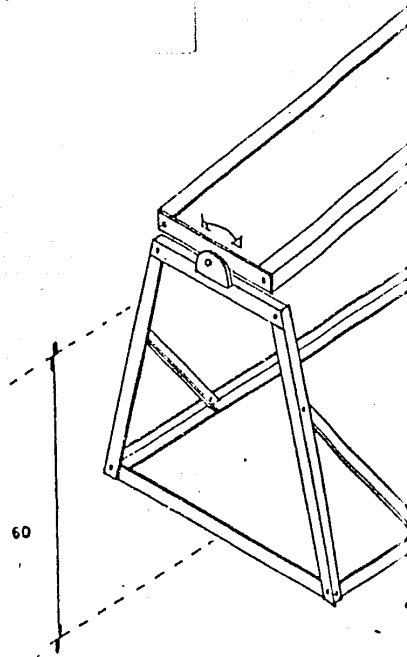
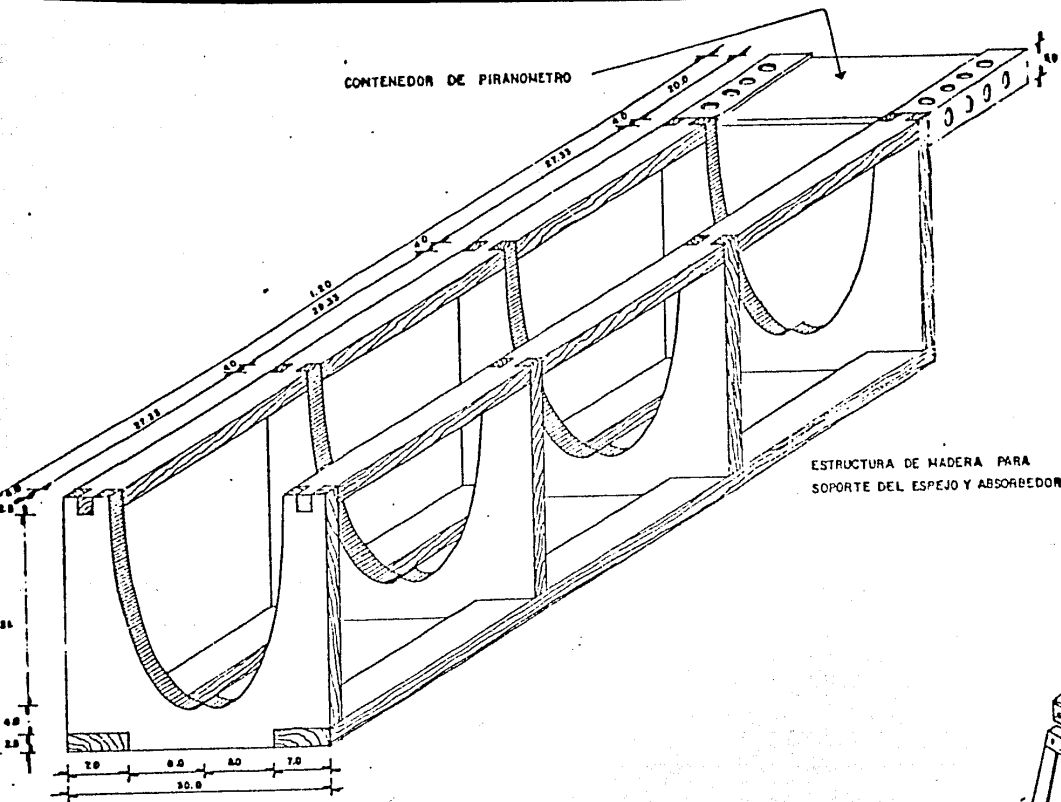
V.1 Colector

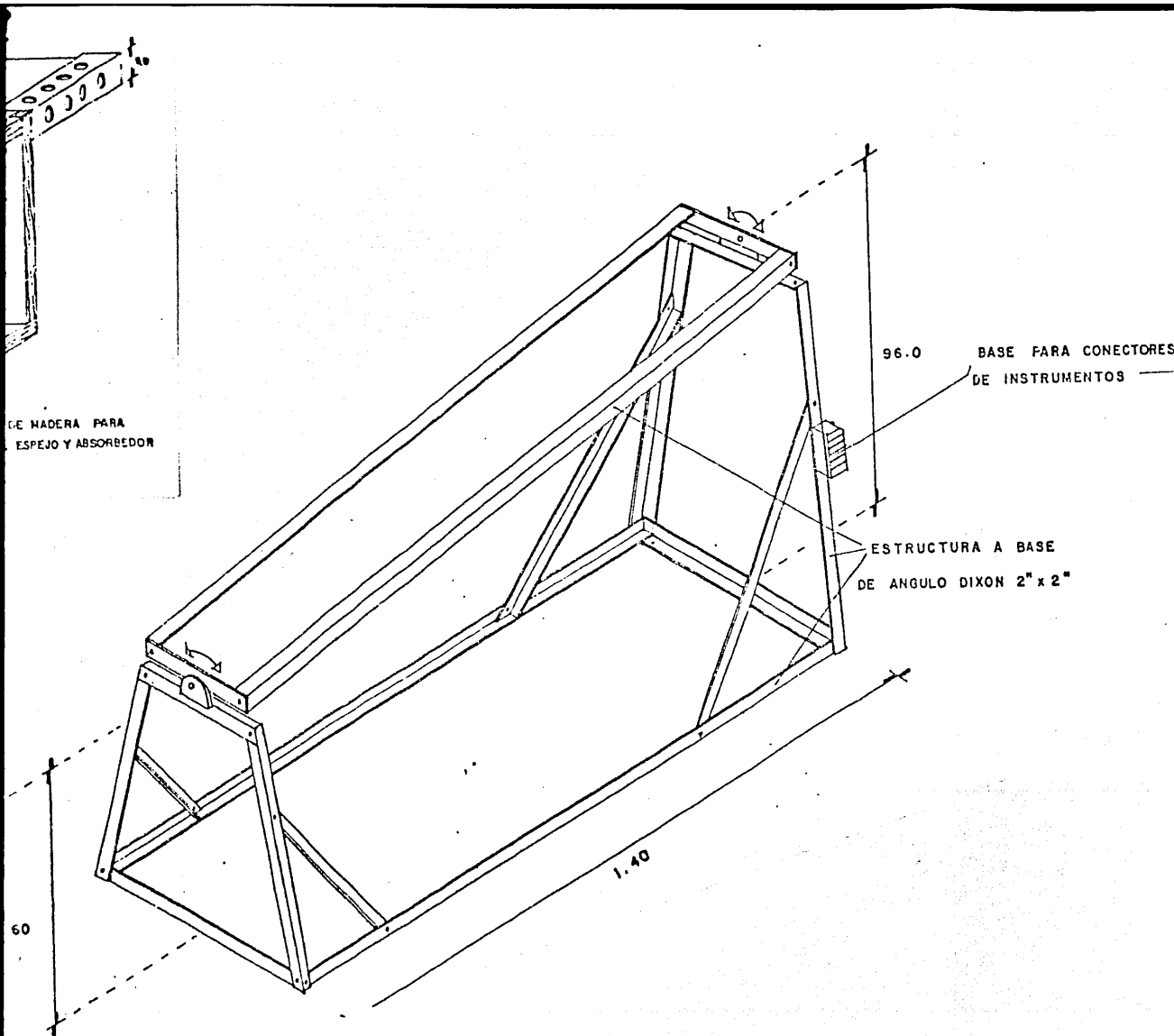
El colector se puede dividir en dos elementos principales:

- a.- Reflector
- b.- Absorbedor

V.1a El reflector se construyó con lámina de acero inoxidable pulida a espejo con espesor de 0.304 mm (.012 pulgadas), el área total del espejo es de 0.8 m^2 .

V.1b El absorbedor es el dispositivo que nos permite





DE MADERA PARA
ESPEJO Y ABSORBEDOR

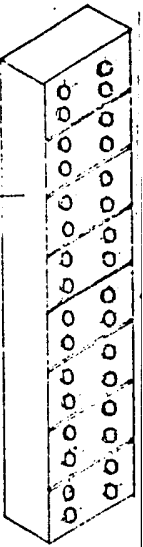
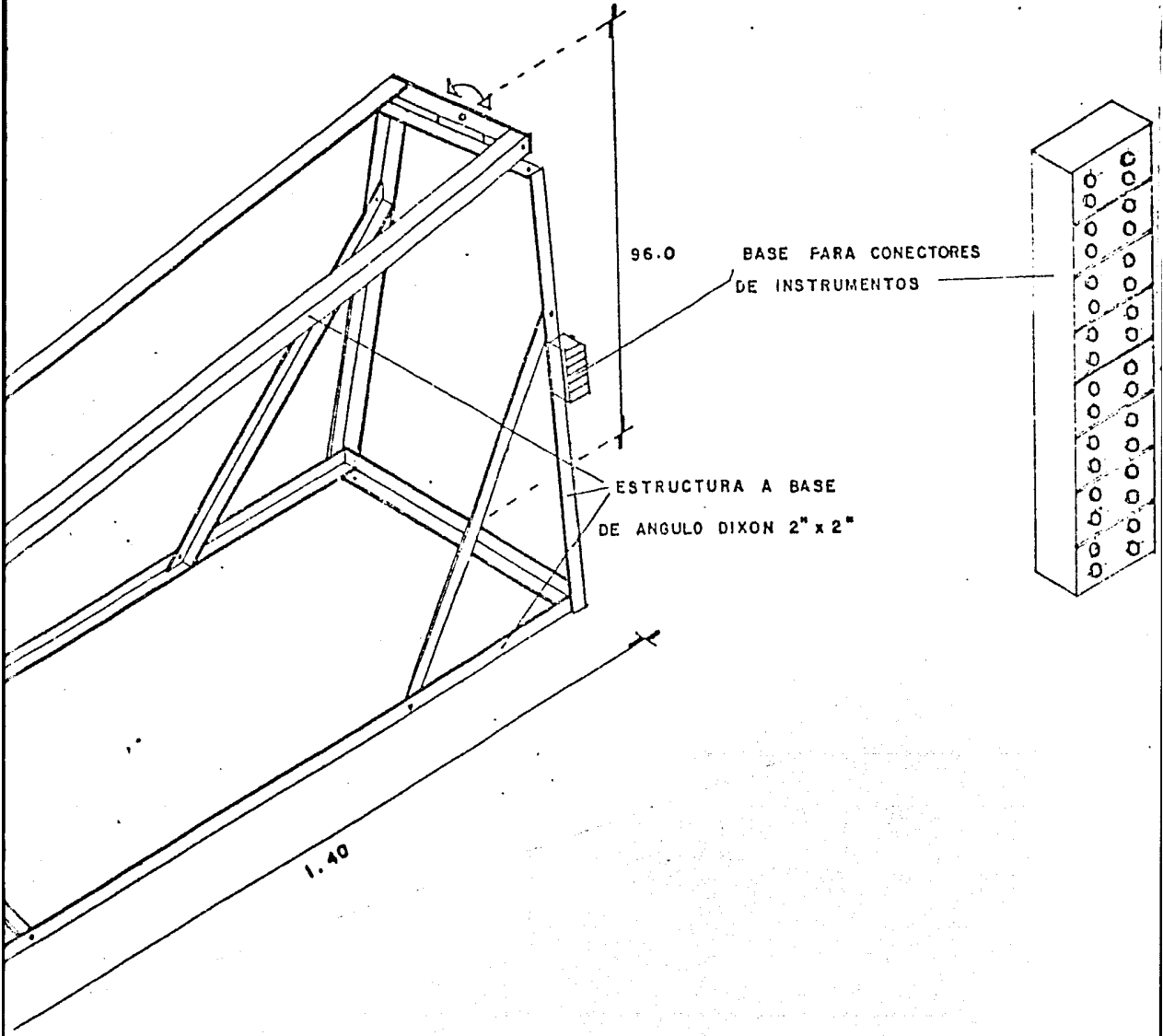
96.0 BASE PARA CONECTORES
DE INSTRUMENTOS

ESTRUCTURA A BASE
DE ANGULO DIXON 2" x 2"

1.40

60

TESIS PROFESIONAL
INGENIERO QUIMICO
JOSE GPE. MIRELES HDZ
COLECTO PARABOLICO COMPUESTO
DETALLES CONSTRUCTIVOS



TESIS PROFESIONAL	LAMINA
INGENIERO QUIMICO	
JOSE GPE. MIRELES HDZ	
COLECTO PARABOLICO COMPUESTO	
DETALLES CONSTRUCTIVOS	

transferir la energía recibida al fluido de trabajo. Se depositó una superficie selectiva de Cromo Negro (ver anexo II). El absorbedor es un tubo de cobre tipo T, de pared delgada con 0.2 mm de espesor, de diámetro nominal 31.75 mm (1 1/4 pulgada), se eligió por tener una alta conductividad térmica y facilidad para depositar la superficie selectiva de Cromo Negro.

V.2 Sistemas Auxiliares

Los sistemas auxiliares del C.P.C. son:

- a.- Sistema de circulación de agua.
- b.- Soportes.
- c.- Aislante

V.2a El sistema de circulación de agua.

El agua es el fluido de trabajo utilizado, y se obtiene a través del suministro local del Laboratorio. El flujo es regulado por una serie de válvulas y medido por un rotámetro marca AMETEX. Para la normalización se requiere que el agua a la entrada del colector esté a una temperatura controlada. Para este propósito se construyó un sistema que permitiera controlar la temperatura de entrada al colector. El sistema consiste de tres partes: Un serpentín, un recipiente para contener agua, una resistencia de calentamiento y un Variac (radiador de tensión de corriente alterna).

El serpentín se armó con tubo de cobre de pared delgada de

0.2 mm de espesor, de diámetro nominal 6.35 mm (1/4 de pulgada) y una longitud de 6.0 m. El diámetro del serpentín es de 15cm. El recipiente para contener el agua es una cubeta de plástico de capacidad 40 lt. La resistencia de calentamiento se sujetó sobre un cono de cerámica acanalado. La potencia suministrada a la resistencia se controla por medio del Variac marca STACO ENERGY PRODUCT potencia 1.4 KVA.

V.2b

Soportes.

Los soportes del C.P.C. son: El soporte del espejo y el soporte del colector.

El soporte del perfil del C.P.C. fué construido en madera (triploy) de 4 cm. de espesor, 30 cm. de ancho y 30 cm. de alto, como se muestra en la fig.V.2a. Cuatro de estas bases fueron alineadas y espaciadas cada 25 cm obteniéndose así una longitud total de 1.0 m tal como se observa en la fig. V.2b. La fig.V.3 muestra la estructura que soporta al colector, esta estructura se construyó con ángulo DEXION de 4x4 cm. Esta base permite dar al colector inclinación y orientación requerida.

V.2c

Aislamiento.

Con el fin de que el fluido de trabajo a la entrada del colector, tuviera la temperatura del baño se colocó el aislante solo en el tramo de tubería comprendido entre la salida del

baño y la entrada del colector. Para esto se empleó como aislante medias cañas de fibra de vidrio con lámina de aluminio.

V.3 La instrumentación, instalada en el C.P.C. se establece en detalle en el capítulo VI.

V.4 Secuencia de construcción del C.P.C.

- a.- Construir el perfil del concentrador en las bases de madera y alinearlos.
- b.- Colocar superficie reflejante, sobre el molde, la cual fue adherida con resina epóxica.
- c.- Depositar superficie selectiva en el absorbedor siguiendo la técnica que se describe en el anexo II.
- d.- Construir los termopares con punta de referencia. Estos termopares se hicieron con alambre de cobre y constantan (aleación de cobre-niquel), calibre número 22 (1.0 mm de diámetro).
- e.- Instalar conexiones apropiadas para el suministro de agua al absorbedor.
- f.- Instalar los instrumentos, para medir las variables y conectarlas al sistema de adquisición de datos.
- g.- Usando el sistema de adquisición de datos se comprueba que todos los instrumentos así como, el equipo estén funcionando adecuadamente.

VI NORMALIZACION DEL COLECTOR PARABOLICO COMPUESTO.

En la presente sección se describe la técnica que permite la caracterización del Concentrador Parabólico Compuesto.

Las pruebas se realizaron como se mencionó de acuerdo a las normas ASHRAE Y CEC [49,50] establecidas para la normalización de colectores solares.

Las pruebas se realizaron a la intemperie, en las instalaciones del Laboratorio de Energía Solar en Temixco, Morelos.

El colector fue instalado en posición fija para dos casos.

- 1.- Orientación norte-sur
- 2.- Orientación este-oeste

El lugar donde se instaló el concentrador se eligió de acuerdo a las siguientes características.

- i.- No tener reflejos por objetos circundantes al concentrador.
- ii.- No tener sombras que se proyecten sobre el colector.
- iii.- No tener en los alrededores del colector ningún objeto

que interfiera la radiación que le llega al concentrador (muros, árboles, etc.).

Estas características se deben cumplir por lo menos mientras dure la prueba.

La instalación típica del colector con el equipo periférico se muestra en la fig.VI.1

VI.2 Variables experimentales.

El método de pruebas identificado para la determinación del funcionamiento térmico del colector requiere la medición de seis variables experimentales, que son:

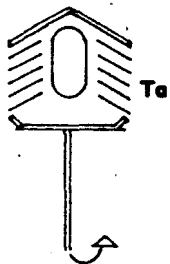
- a.- Radiación Solar
- b.- Temperatura del fluido a la entrada y salida al colector
- c.- Temperatura del medio ambiente
- d.- Velocidad del fluido de transferencia de calor
- e.- Velocidad del viento
- f.- Ángulo de incidencia de la radiación solar.

VI.3 Instrumentos para medir las variables que caracterizan al C.P.C.

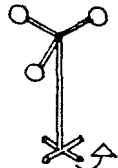
Instrumentos empleados para la medición experimental de las variables

- a.- Radiación solar

**SENSOR DE TEMPERATURA
AMBIENTE**



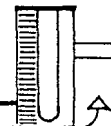
**SENSOR DE LA VELOCIDAD DEL
VIENTO**



PIRANOMETRO



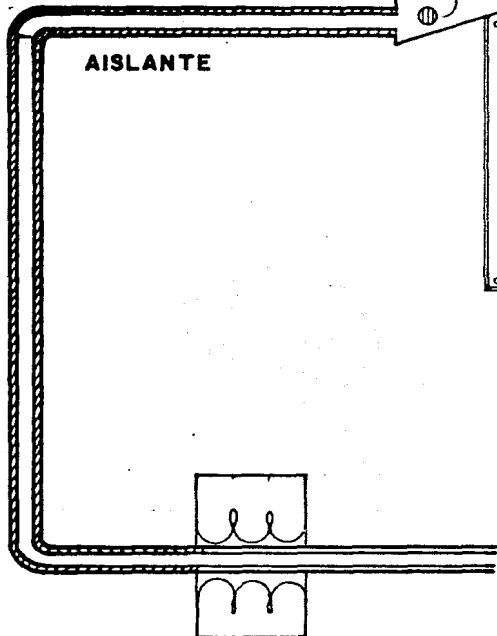
FLUJOMETRO



COLECTOR SOLAR

18°

AISLANTE



**SISTEMA DE CALENTAMIENTO
DE AGUA**

⊕ **SENSORES DE TEMPERATURA
DENTRO DEL ABSORBEDOR**

↗ **CONECTORES QUE VAN AL SISTEMA DE
ADQUISICION DE DATOS**

FLUJO

La radiación solar total se registra con un Piranometro. Las características requeridas [47] para este equipo son:

- i.- Sensibilidad ($W.m^2$) \leq a ± 5
- ii.- Estabilidad (máximo cambio por año) $\pm 2 \%$
- iii.- Selectividad (máximo % de error en el cambio de respuesta al espectro) ± 2
- iv.- Tiempo de estabilización 1.0 min.
- v.- Respuesta al Azimut (máximo % de desviación que se asume para un día claro) $\pm 5-7$.

El piranómetro empleado en el presente caso fue calibrado por el Instituto de Geofísica y tiene las características siguientes:

- i.- Sensibilidad ± 1.5
- ii.- Estabilidad ± 1.3
- iii.- Selectividad ± 1
- iv.- Tiempo de estabilización 30 sec.
- v.- Respuesta al azimut ± 4

El Piranómetro se instaló en el mismo plano de apertura del concentrador, en la parte superior del colector para que tenga el mayor ángulo de visión posible, tal como muestra la fig.VI.1

Una vez instalado el piranómetro se volvió a calibrar con una celda patrón, obteniendo resultados coincidentes con los

obtenidos por el Instituto de Geofísica. La diferencia de potencial recibida por el sistema de adquisición de datos del piranómetro es convertido a radiación solar por medio de la siguiente expresión:

$$I = 5376 * V - 50 \quad (VI.1)$$

donde: I es la radiación solar en W/m^2 y V es la diferencia de potencial en mV .

b.- Temperatura del Fluido a la Entrada y Salida del Colector y medio ambiente

La medición de las temperaturas del fluido de trabajo a la entrada y salida del colector así como la temperatura del medio ambiente, se realizó con termopares.

Los termopares tiene dos tipos de sistemas de referencia. Sistema con compensación electrónica, que es una compensación por medio de un termistor colocado en el sistemas de adquisisci3n de datos y sistema con compensaci3n de punto de referencia de cero grados centigrados.

Para la normalizaci3n del colector se eligi3 el sistema de referencia de $0 \text{ } ^\circ \text{C}$. que es la fem o diferencia de potencia obtenida cuando una de las juntas se encuentra a una temperatura de referencia de cero grados centigrados. En la fig.VI.2 se muestra un diagrama de este circuito. Existen tablas donde se puede encontrar

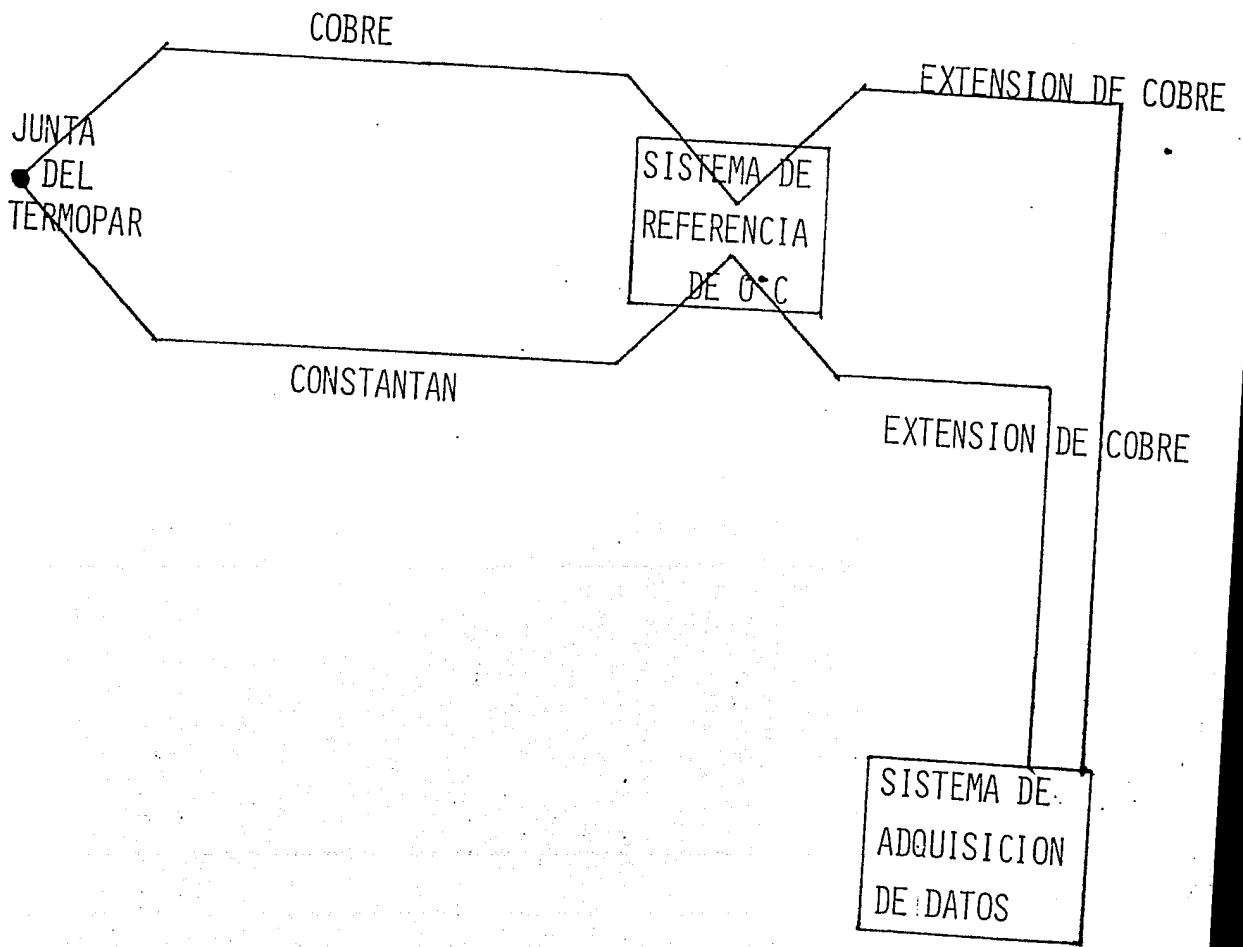


FIGURA VI.2 REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL ARREGLO ELECTRICO DEL SISTEMA DE COMPENSACION TERMICA DEL TERMOPAR

la relación de fem - temperatura de los termopares más comunes. Se cuenta con equipos electrónicos que reportan directamente la temperatura en las unidades de temperatura.

Este sistema de referencia de termopares con punta de referencia de cero grados centígrados, permite hacer las extensiones con alambre de cobre hacia el sistema de adquisición de datos. El diámetro de los termopares empleados fue de 1.0 mm calibre # 22. Estos fueron calibrados, encontrando una desviación de ± 0.2 °C. Se encontró que la correlación entre voltaje y temperatura en grados centígrados es de la forma:

$$T = 0.02566*V - 0.61954*V^2 + 22.18 * V^3 - 355.0*V^4] * 10^{-6}$$

(VI.2)

En donde V es la fem o diferencia de potencia en mV., T es la temperatura en °C

Cinco termopares fueron instalados en el seno del fluido de trabajo, a lo largo del tubo absorbedor, separados 25 cm uno de otro. Un termopar mas fue instalado para registrar la temperatura del medio ambiente.

d.- Velocidad del fluido de transferencia de calor.

El fluido de trabajo fue agua comun y el flujo se registró, instalando un rotámetro marca AMETEX.

e.- Velocidad del viento

La velocidad del viento fue medida con un anemómetro portátil modelo 774 marca ROSSBACH, instalado a un costado del concentrador

f.- Ángulo de inclinación de la radiación solar

Este se fija de acuerdo al lugar geográfico en donde se realice la prueba depende de la Latitud, la cual en Temixco, Mor. es de 18' 51" norte y su latitud es 99' 15" y se encuentra a una altitud de 1200-1300 m sobre el nivel del Mar.

Los Termopares y el Piranómetro fueron conectados a un Sistema de Adquisición de Datos automático Hewlett-Packard 3052A (SAD) con velocidad de lectura constante de 3 lecturas por sec. [59]. Este equipo consiste básicamente de un selector de canales y un multímetro. Este equipo es a su vez controlado por una micro-computadora Hewlett-Packard serie 7000, modelo 216. Para lograr este control se generó un programa para la microcomputadora denominado "adquisición de datos" en el anexo III se muestra un listado de éste. El programa permite leer un máximo de 200 muestras, pudiendo leer 15 canales disponibles por muestra.

Este programa además de leer la fem del SAD los convierte a través de sus relaciones respectivas a temperaturas o a radiación solar, archivando la información para análisis

posterior, tiene la opción de graficar directamente las temperaturas medidas en los termopares como función del tiempo.

VI.4 Procedimiento de cálculo

El funcionamiento térmico del colector operado bajo condiciones estacionarias, se puede describir mediante un balance de energía que incluya los siguientes aspectos. Radiación solar incidente sobre el colector, Energía útil extraída por el fluido de transferencia y pérdidas de energía hacia el medio ambiente.

El análisis de la eficiencia térmica del concentrador ha sido bien estudiada [44,50], si se evalúa el calor extraído por el colector tenemos que el calor útil (Q_u) extraído por el fluido es.

$$Q_u / A_a = m / A_a * C_p * (T_f - T_i) \quad (VI.3)$$

donde m es el gasto másico en Kg/min, C_p es la capacidad calorífica del fluido de transferencia a temperatura promedio en Kcal/°C Kg, T_f temperatura del fluido a la salida del colector en °C, T_i temperatura del fluido a la entrada del concentrador en °C, A_a área de apertura del concentrador en m².

Radiación incidente sobre el área de apertura del concentrador;

$$Q_r = I * A_a * (\tau * \alpha) \quad (VI.4)$$

si I es la radiación solar total recibida por el área de apertura, τ es la transmitancia de la cubierta, α es la absorbencia, estas propiedades ópticas se toman las promedio para la superficie de la cubierta y del reflector.

El calor que se pierde al medio ambiente esta dado por,

$$Q_p = U * A_e * (T_p - T_a) \quad (VI.5)$$

donde U es el coeficiente de transferencia de calor, T_p temperatura promedio del absorbedor, T_a temperatura ambiente, A_e área equivalente de transferencia de calor por pérdidas.

Para encontrar la temperatura promedio de la superficie del receptor, se introduce un factor denominado F_r que es la energía útil colectada por el concentrador entre la energía útil que se transfiere al fluido.

Entonces el calor útil se puede encontrar por un balance de energía definido en términos de calor suministrado y de las pérdidas de calor.

$$Q_u / A_a = m * C_p (T_f - T_i) = F_r * I * A_a * (\tau * \alpha) - U * A_e * (T_p - T_a) \quad (VI.6)$$

Si la eficiencia se define como el calor útil extraído entre el calor suministrado, esto es:

$$n = (Q_u / A_a) / I \quad (VI.7)$$

Entonces tenemos que

$$\begin{aligned} n &= \dot{A}_e * Fr [\epsilon * a - U * (T_f - T_a) / I] \\ &= m * C_p * (T_f - T_i) / \dot{A}_e * I \end{aligned} \quad (VI.8)$$

En esta ecuación se observa que si se grafica la eficiencia (n), contra $(T_f - T_a) / I$ se tendrá una línea recta en donde la pendiente es $\dot{A}_e * Fr * U$ y la ordenada al origen es $\dot{A}_e * Fr * \epsilon * a$.

VI.5 Pasos de iniciación del experimento.

La secuencia de pasos para determinar la eficiencia térmica del Concentrador Parabólico Compuesto es la siguiente:

a.- Limpiar el concentrador

En esta etapa se limpiaba el concentrador de agua de lluvia o polvo para tener las condiciones de la superficie reflejante lo mas parecidas a las pruebas iniciales.

b.- Suministrar agua al tubo absorbedor.

Se fija el flujo volumétrico del agua que sirve como fluido de transferencia de calor a las condiciones establecidas

c.- Verificar que los instrumentos funcionen correctamente.

Se procedía a verificar que termopares, piranómetro, anemómetro y rotámetro funcionaran a las condiciones que uno fijó para la prueba.

d.- Colocar a termopares punto de referencia de cero grados centigrados.

Para tener el punto de referencia durante toda la toma de muestras se colocaba uno de las dos uniones de las puntas de los termopares dentro de un termo el cual contenía una mezcla de agua-hielo, garantizando así que se tiene punto de referencia de cero grados centigrados durante la prueba.

e.- Esperar a que el sistema alcance estado permanente.

En este paso se registran las variables hasta que se mantengan, en un valor independiente del tiempo.

f.- Dar instrucciones a microcomputadora para que inicie a adquirir la información de las variables.

En este paso se daban las instrucciones a la microcomputadora para que empezara a tomar y almacenar datos. La información se empezaba a adquirir a las 11:30 y terminaba a 12:30 con una tolerancia de $\pm 5\%$.

g.- Análisis de la información adquirida.

En esta etapa se procedía a analizar la información en la microcomputadora, obteniendo las siguientes gráficas; eficiencia puntual contra el tiempo, insolación contra el tiempo, temperaturas a lo largo del absorbedor contra el tiempo, temperatura del fluido contra distancia del absorbedor.

VI.6 Resumen de los datos de acuerdo a formato de normas ASHRAE.

En seguida se muestra un resumen de los parámetros de diseño del concentrador así como del análisis de la información, con el formato de las normas ASHRAE, esta información se depositará en este formato.

REPORTE DE DATOS E INFORMACION DE ACUERDO A NORMAS ASHRAE

INFORMACION GENERAL

Nombre del proyecto: CONCENTRADOR PARABOLICO COMPLETO

Modelo del colector: Primer prototipo

DETALLES DE CONSTRUCCION DEL COLECTOR

Dimensiones de apertura y área: 1.0 m de largo, 0.214 m de ancho y una área de 0.214 m^2

Dimensiones transversales y área: 0.214 m de ancho, 0.26 m de alto y una área de 0.55 m^2

Dimensiones y área de superficie del absorbedor : 1.0 m de largo, 0.03175 m de diámetro, y una área de 0.09974 m^2

Plano de cubierta, dimensiones, material y propiedades: Sin cubierta

Reflector dimensiones, material, propiedades ópticas: Reflector de lamina de acero inoxidable pulida a espejo de espesor 0.304 mm, se uso una área de 0.8 m^2

FLUIDO USADA PARA LA TRANSFERENCIA DE CALOR Y SUS PROPIEDADES

El fluido usado fue agua y su $C_p = 4.175 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{C}$

PESO DEL COLECTOR BASADO SOBRE AREA TRANSVERSAL

El colector tiene un peso aproximado de $75 \text{ Kg} / \text{m}^2$

CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL COLECTOR BASADO POR AREA TRANSVERSAL (SI EL FLUIDO DE TRANSFERENCIA ES UN LIQUIDO).

La capacidad volumetrica es de $3.0 \text{ m}^3 / \text{m}^2$

TEMPERATURA NORMAL DE OPERACION

El colector opero en el intervalo de 20.0 a 45.0 $^\circ\text{C}$

VELOCIDAD MINIMIMA DEL FLUIDO

La velocidad minima del fluido es de 0.003486 Kg / s

VELOCIDAD MAXIMA DE OPERACION

La máxima velocidad del fluido fue de 0,005644

DESCRIPSION DEL COLECTOR INCLUYENDO INSTRUMENTOS Y CONFIGURACION

Se explica en detalle en la sección VI.1

DESCRIPSION DEL MONITOREO DE LAS PRUEBAS DEL COLECTOR

La explicación de esto esta en la sección VI.5

LOCALIZACION DEL LUGAR DONDE SE REALIZAN LAS PRUEBAS

Las pruebas se efectuarón en Temixco Morelos en el Laboratorio de Energía Solar el cual se encuentra ubicado a 18' 51" norte, latitud 99' 15 " y esta a una altura sobre el nivel del mar de 1200 a 1300

EFICIENCIA TERMICA DEL COLECTOR

Anexar una grafica de eficiencia promedio versus $(T_a - T_i)/I$: Ver análisis de resultados

Una ecuación de las curvas de eficiencia: ver tabla VII.3

Para cada muestra

m : Ver tabla VII.1

Cp : Se uso color especifico promedio

Tiempo donde se inicia prueba: 11:30 am +/- 5 min

Tiempo en que finaliza la prueba: 12:30 pm +/- 5 min

Angulo de inclinación del colector: 18' con respecto a la horizontal

VII. ANALISIS DE RESULTADOS

El objetivo de este capítulo es el estudio de la información obtenida en la normalización del C.P.C. así como la relación que existe entre cada uno de los parámetros.

Este capítulo se organizó como sigue: Primero se hace una descripción de la metodología utilizada para analizar la información y posteriormente se hace el estudio paramétrico del C.P.C.

En la presente sección se muestra el análisis de los resultados obtenidos experimentalmente, y son tomados sólo aquellos casos en que se muestra claramente las condiciones en que opero el C.P.C. por ejemplo, en las situaciones de baja insolación, también se estudia el comportamiento del colector cuando la temperatura del fluido de trabajo en la entrada del colector es mayor a la del medio ambiente. Finalmente es presentada la gráfica de eficiencia promedio contra la temperatura normalizada, de donde se obtiene el coeficiente de transferencia de calor y el coeficiente de pérdidas ópticas.

VII.1 Metodología de Análisis

Los datos de temperatura e insolación obtenidos en cada experimento, se almacenaron en forma secuencial en la memoria de la microcomputadora H.P. 216. Para procesar esta información se

elaboraron cuatro programas, cuyos listados se muestran en los Anexos IV, V, VI y VII, estos programas se caracterizan por estar constituidos por tres bloques característicos que incluyen:

- a.- Formato para leer la información del banco de datos.
- b.- Formato para mostrar en pantalla, la ventana de graficación.
- c.- Formato para organizar, procesar y presentar el análisis de la información.

El algoritmo de los programas presentados en los anexos se muestra en la fig. VII.1.

A continuación se describe, la función de cada uno de los cuatro programas listados en los anexos, ya antes mencionados:

1.- En el anexo IV está el listado del programa generado con el objetivo de extraer la información de los bancos de datos y se realice la gráfica de temperatura en función del tiempo de muestreo. El programa requiere la información siguiente: nombre del archivo, termopares que se desean graficar, así como el tipo de línea con que se desea se representen cada una de las temperaturas registradas por los termopares.

2.- En el anexo V se presenta el listado del programa generado con el propósito de graficar la insolación global recibida por el colector en función del tiempo de muestreo. A este programa debe

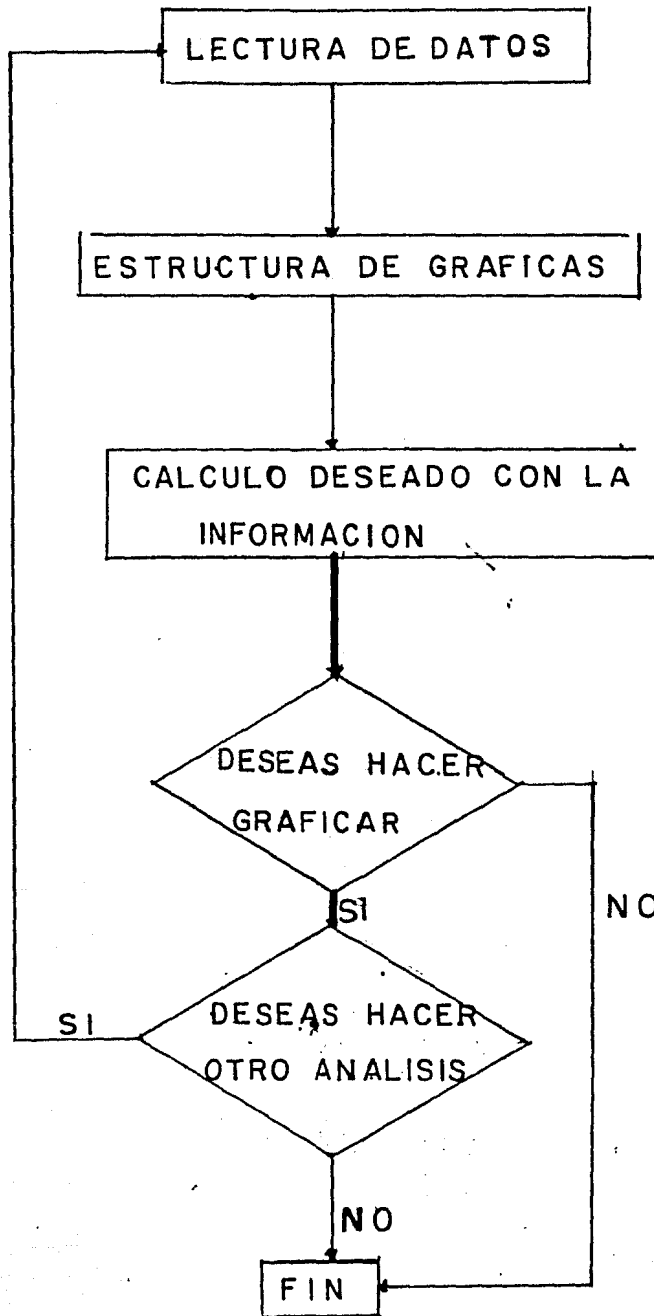


FIGURA VII.1 ALGORITMO DE PROGRAMAS PARA ANALIZAR INFORMACION DE BANCO DE DATOS

suministrarse el nombre del archivo que se desea analizar.

3.- En el anexo VI se da el listado del programa mas importante para el análisis de la información de cada experimento que fué generado con el objetivo de calcular la eficiencia instantánea del colector y su eficiencia promedio. De la gráfica de eficiencia instantánea contra tiempo de muestreo es posible generar la información necesaria para obtener datos con los cuales se realiza la gráfica de eficiencia promedio contra el valor $(T_f - T_a)/I$ cuya relación fue descrita en la sección anterior. Esta gráfica tiene gran importancia ya que haciendo una regresión lineal de los datos se puede obtener el valor del coeficiente de transferencia de calor así como el coeficiente de pérdidas ópticas. Como se mencionó anteriormente, la información se almacena en los archivos en forma secuencial. Para evaluar la eficiencia se requiere de los siguientes pasos:

i.- La serie que nos proporciona la información de los bancos de datos de la temperatura del agua a la entrada del colector es:

$$T_i = T ((I * 7) + 1) \quad \text{--- (VII.1)}$$

donde I es una variable secuencial.

ii.- Para conocer la información de la temperatura del agua a la salida del colector tenemos la expresión:

$$T_f = T ((I * 7) + 5) \quad (\text{VII.2})$$

iii.- La insolación se extrae del banco de datos con la expresión:

$$R_d = T ((I + 1) * 7) \quad (\text{VII.3})$$

iv.- Finalmente la temperatura del medio ambiente, será conocida por la relación:

$$T_a = T (I * 7 + 6) \quad (\text{VII.4})$$

Con esta información se puede evaluar el calor útil (Q_u) como:

$$Q_u = m * C_p * (T_f - T_i) \quad (\text{VII.5})$$

donde m es el gasto másico en (Kg/s). Como se dispone de éste dato en flujo volumétrico, o sea en (Lt/min) que son las unidades en que el flujómetro está calibrado. El programa hace el cambio de unidades respectivas, para sustituir este resultado en la ec. VII.5, para lo cual se evalúa la densidad a temperatura promedio del fluido de trabajo. También se determina por tablas el valor del calor específico C_p en (J/Kg °C m²) a temperatura promedio.

El flujo de calor recibido por el colector se puede evaluar multiplicando la insolación global por el área de apertura del

colector, esto es:

$$Q_s = I * A_a$$

(VII.6)

donde: I es la insolación total, A_a es el área de apertura del colector que para nuestro caso es fija y tiene el valor de 0.216 m^2 .

Con esta información y recordando la definición de eficiencia, dada por la ec.VI.8 se encuentra este valor y se grafica contra el tiempo de muestreo. Con esto se evalúa la eficiencia promedio como la suma de eficiencias entre el número de datos, con este valor se puede hacer la gráfica de eficiencia promedio contra el valor de la temperatura normalizada. El programa requiere como datos el nombre del archivo y el flujo volumétrico.

4.- Finalmente para concluir con los programas que nos permiten analizar la información almacenada en los archivos, se empleo el programa cuyo listado se muestra en el anexo VII. Este programa nos proporciona la gráfica de temperatura como función de la distancia a lo largo del absorbedor. Esto se hace con el objeto de encontrar la longitud óptima del colector, ya que como se describió en el capítulo de construcción del C.F.C. nuestro sistema sólo cuenta con un metro de longitud.

VII.2

Estudio Paramétrico

En la tabla VII.1 se muestra un resumen de los resultados

TABLA VII. 1

TIPO DE EXPERI.	Nº DE EXPERIMENTO	FECHA	FLUJO ML/MIN.	TEMP. °C ENTRADA	TEMP. °C SALIDA	INSOLACION W/M ²	TEMP. °C AMBIENTE	$Q_U = MC_P \Delta T$ J/s	$N = \frac{Q_U}{I A}$	$(T_F - T_I) / I$	
A	1	22/6/85	260	25.5	29.0	820	27.0	46.7	44.0	0.00244	
	2	24/6/85	300	25.5	29.5	730	27.0	46.7	44.0	0.00242	
	3	27/6/85	300	25.0	28.5	790	26.5	73.0	43.0	0.00280	
	4	1/7/85	300	25.0	29.0	760	26.5	79.8	44.0	0.00320	
	7	2/7/85	300	25.5	29.0	700	27.0	67.0	43.0	0.00400	
	8	3/7/85	310	24.5	28.0	800	27.0	72.0	43.0	0.00365	
	9	4/7/85	310	26.0	29.0	790	27.5	73.0	44.5	0.00379	
	B	10	5/7/85	250	26.0	29.5	840	27.0	65.0	41.0	0.00295
		11	11/7/85	250	25.0	29.0	770	27.5	55.0	35.0	0.01940
12		12/7/85	270	24.5	28.5	760	28.0	73.0	44.0	0.00365	
13		13/7/85	250	25.5	29.5	830	26.0	70.0	40.0	0.00320	
14		18/7/85	300	25.0	29.0	800	26.5	73.0	40.0	0.00315	
15		22/7/85	215	26.5	31.0	890	26.0	72.0	42.0	0.00210	
16		23/7/85	260	26.0	29.5	890	27.0	73.0	41.0	0.00280	
C		18	25/7/85	215	25.0	26.5	770	27.5	27.0	16.5	0.00128
	23	2/7/85	215	24.5	26.5	800	27.0	29.0	17.0	0.00062	
	26	9/7/85	210	25.0	26.5	750	27.0	22.0	14.0	0.00200	
D	19	26/7/85	340	37.0	39.5	750	26.5	53.0	50.0	0.01733	
	20	31/7/85	310	38.8	41.0	750	27.0	43.0	27.0	0.01870	
	29	14/8/85	260	31.5	35.0	740	29.0	40.0	36.0	0.00210	
	28	13/8/85	260	40.5	44.5	760	29.5	47.0	32.0	0.01373	
	26	12/8/85	260	42.5	45.5	740	29.5	65.0	36.0	0.02160	
	24	5/8/85	275	43.0	46.0	750	26.5	36.0	22.0	0.03060	
	25	7/8/85	310	46.0	49.5	750	27.0	39.0	23.0	0.03000	
	31	20/8/85	210	31.5	35.5	790	26.5	40.0	24.0	0.01139	
E	30	21/8/85	300	27.0	31.5	860	28.0	80.0	60.0	0.00407	
	32	26/8/85	240	24.0	30.5	1000	26.5	108.0	62.0	0.00400	
	33	28/8/85	260	23.5	30.5	980	28.0	104.0	61.0	0.00250	
	34	29/8/85	260	24.0	30.5	920	25.0	104.0	61.0	0.00257	
	35	2/9/85	260	34.0	40.0	950	28.5	108.0	52.0	0.01210	
	36	3/9/85	260	45.0	48.0	915	28.0	62.0	43.0	0.02180	
F	38	6/9/85	260	26.0	31.5	850	28.5	100.0	55.0	0.00350	
	39	10/9/85	250	21.5	29.5	840	27.0	136.0	57.0	0.00290	
	40	11/9/85	250	33.5	39.5	850	27.0	85.0	45.0	0.01470	
	41	17/9/85	260	36.5	40.0	750	28.0	75.0	43.0	0.01600	
	42	19/9/85	260	27.0	33.0	850	28.0	100.0	55.0	0.00580	
	43	20/9/85	260	38.0	43.0	800	28.0	108.0	40.0	0.0187	

obtenidos de todos los experimentos realizados para caracterizar el C.P.C.. Cada dato proporcionado en esta tabla representa el resultado de dos experimentos realizados el mismo día. El primer experimento del día comenzó a las 11:30 hr, finalizando a la 12:00 pm. e inmediatamente se inicia el segundo muestreo para que la prueba termine a las 12:30 pm. Para la realización consecutiva de estos experimentos se tuvo un tiempo de defasamiento de ± 5 min. Las variables paramétricas analizadas son: Orientación de captador, área del reflector y temperatura del fluido de trabajo a la entrada del captador.

Para la caracterización del sistema se dividieron los experimentos en seis grupos de acuerdo a las condiciones que se establecen a continuación:

A.- El grupo A mostrado en la tabla VII.1 se realizó bajo las siguientes condiciones:

- i.- El colector se colocó con orientación norte-sur.
- ii.- El área del reflector fue completa.
- iii.- La temperatura del fluido de trabajo a la entrada del concentrador fue igual a la temperatura de la línea de suministro $25.0^{\circ}\text{C} \pm 1.0^{\circ}\text{C}$

B.- Los experimentos realizados en el grupo B de la Tabla VII.1 se efectuaron con las siguientes condiciones:

- i.- El colector se colocó en orientación norte-sur
- ii.- El área del reflector se redujo 0.26 m^2 . Esto se logró truncando 13 cm. la altura del reflector lo

cual representa el 35 % de la altura total.

iii. La temperatura del fluido de trabajo fue igual a la de la línea de suministro.

C.- La serie de experimentos realizados en el grupo C de la Tabla VII.1 se efectuaron bajo las condiciones de:

- i.- El colector se colocó con orientación norte-sur.
- ii.- El área del colector fue cubierta totalmente, es decir solo se dejó a exposición solar el absorbedor
- iii.- La temperatura del fluido a la entrada del absorbedor fue igual a la temperatura de la línea de suministro

D.- Las condiciones de los experimentos del grupo D se fijaron con el objeto de proporcionar mayor información y obtener más delineada la gráfica de eficiencia promedio contra el factor $(T_f - T_0)/I$.

Las condiciones se fijaron de la manera siguiente:

- i.- Orientación del colector norte-sur.
- ii.- El área del espejo se trunco 13 cm de su altura.
- iii.- La temperatura de alimentación del agua a la entrada del colector fue en el rango de 35.0°C a 45.0°C.

E.- Las condiciones de operación del grupo E de experimentos mostrados en la tabla VII.1 son:

- i.- La orientación del colector se fijó en este-oeste.
- ii.- El área del reflector fue completa.

iii.- La temperatura del agua a la entrada del absorbedor fue igual a la de línea de suministro para algunos experimentos y mayor a la de la línea de alimentación para otros experimentos.

F.- Por último se realizaron los experimentos del grupo F, los cuales fueron efectuados bajo las siguientes condiciones:

- i.- La orientación del colector fue este-oeste.
- ii.- El área del reflector se trunco a 13 cm de su altura.
- iii.- La temperatura del agua a la entrada del colector se varió para cada experimento.

Las condiciones de los diferentes experimentos realizados y descritos anteriormente están resumidos en la tabla VII.2

VII.3 Descripción de los experimentos representativos.

Se considera como experimento representativo a aquel que bajo las condiciones específicas en las cuales se realizó, presenta un comportamiento que englobe los resultados de los demás experimentos.

El análisis de cada serie de experimentos se hace a partir del estudio detallado de dos experimentos representativos de cada grupo mostrados en la Tabla VII.1.

Para el análisis del grupo A se tomaron los experimentos con el número 1 y 4.

TABLA VII.2

Condiciones de Operación	REFLECTOR		ORIENTACION DEL CONCENTRADOR		TEMPERATURA DEL AGUA A LA ENTRADA	
	COMPLETO	TRUNCADO 13 cm	NORTE_SUR	ESTE_OESTE	IGUAL A AMBIENTE	MAYOR
A	X		X		X	
B		X	X		X	
C	-	-	X		X	
D		X	X			X
E	X			X	X	X
F		X		X	X	X

TABLA VII.2 RESUMEN DE CONDICIONES DE OPERACION DE CADA GRUPO DE EXPERIMENTOS REALIZADOS

En la fig.VII.2 en que se muestra la temperatura versus tiempo, solo aparece el registro de cuatro temperaturas de menor a mayor éstas son; a la entrada del colector (A), después de 50 cm de longitud (B), después de 75 cm (C) y a la salida del colector (D). El registro de la temperatura ambiente se realizó con un termómetro de bulbo ya que el termopar asignado a sensar esta variable, aún se encontraba con dificultades para que el sistema de adquisición de datos lo registrase. Lo mismo ocurrió con el termopar instalado 25 cm a lo largo del absorbedor después de la entrada del colector.

En la fig.VII.2 se observa que se presentan dos tipos de comportamientos de las curvas, uno estable y el otro inestable. Los intervalos de tiempo en que se presentan los casos estables ocurren aproximadamente durante los primeros 6.0 minutos, nuevamente en el rango del minuto 18.0 al minuto 34.0 y finalmente del minuto 46 hasta concluir el experimento. Los intervalos de tiempo en que se presentan los comportamientos inestable son del minuto seis al 18 y del minuto 34 al 46. Para explicar este comportamiento se observa la fig.VII.3 en la que es representada la insolación contra el tiempo de lectura. En esta gráfica también se presentan dos períodos, uno estable y el otro inestable, el período estable se presenta después de los primeros cinco minutos hasta el min. 17 y del minuto 33 al 42, con esta información podemos concluir, que el colector tiene un tiempo de respuesta de aproximadamente un minuto.

En la fig.VII.4 se muestra la eficiencia puntual contra el tiempo de muestreo, en ella se observa cómo la eficiencia puntual

TEMPERATURA DEL FLUIDO

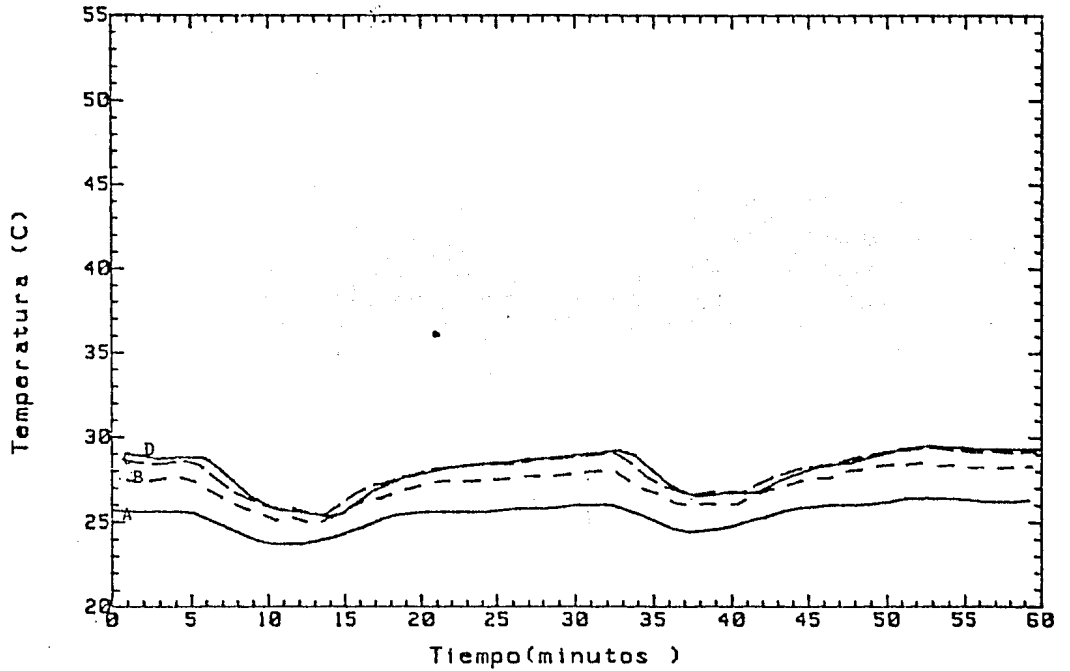


FIGURA VII.2 DATOS DE TEMPERATURA CONTRA TIEMPO DEL EXPERIMENTO 1

I N S O L A C I O N

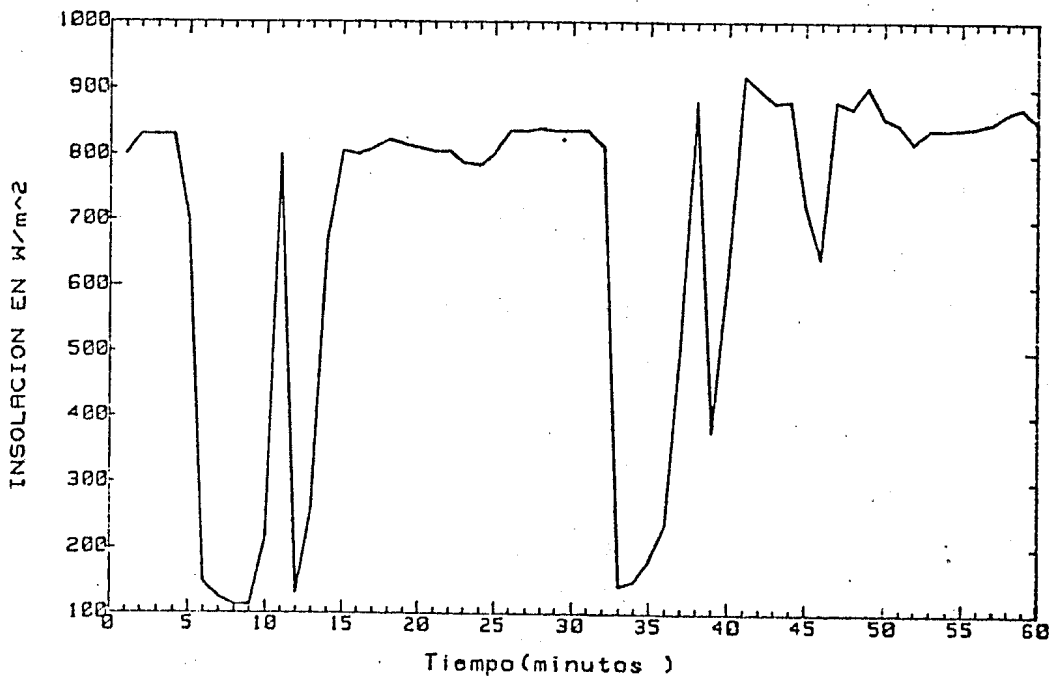
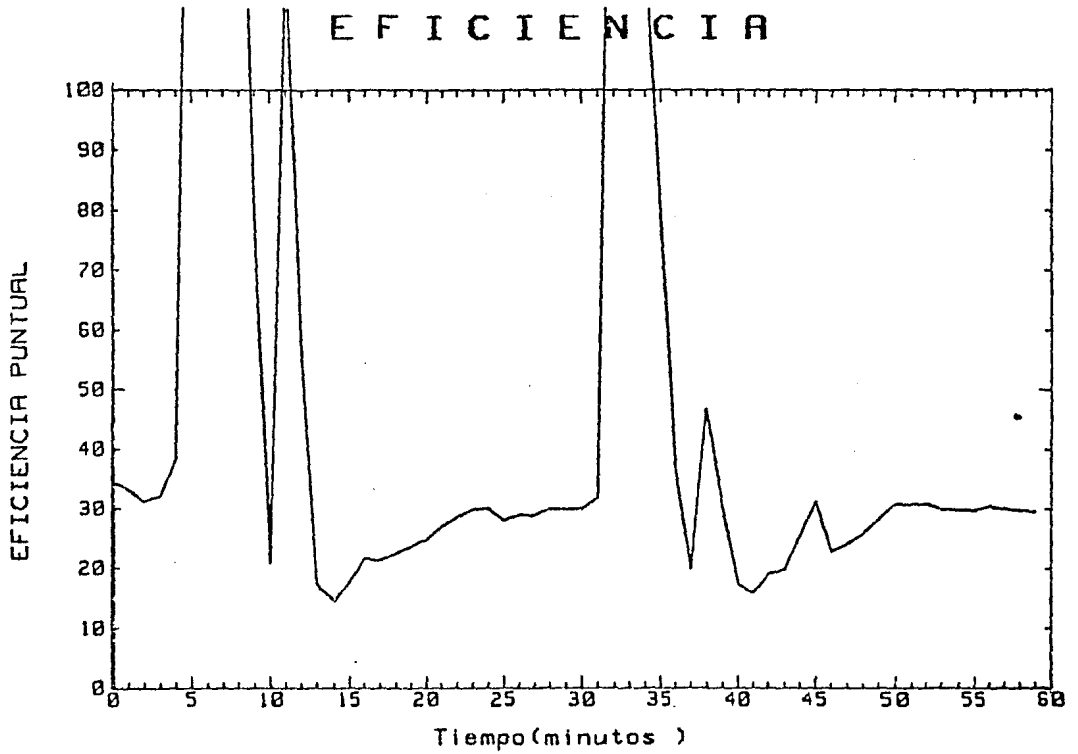
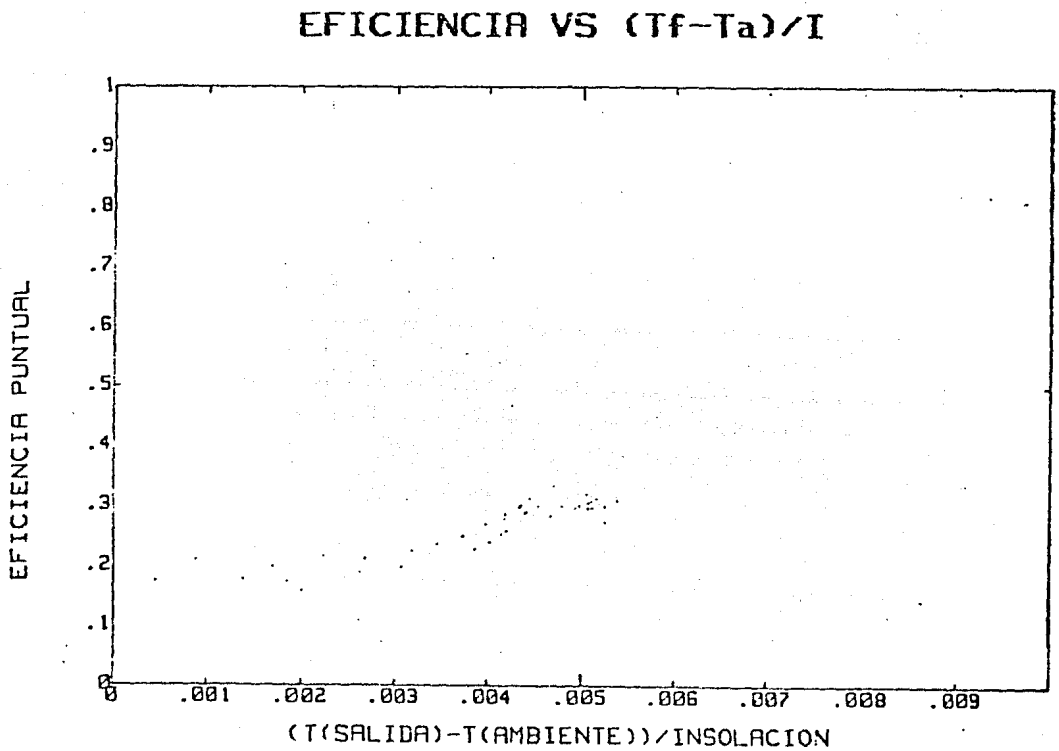


FIGURA VII.3 DATOS DEL EXPERIMENTO 1



FUGURA VII.4 DATOS DEL EXPERIMENTO 1



FUGURA VII.5 DATOS DEL EXPERIMENTO 1

llega a ser mayor que el 100 %. Para entender este hecho recordemos que el equipo tiene inercia térmica, por lo que las temperaturas no cambian instantáneamente de acuerdo a la insolación. En la fig.VII.5 se muestra la eficiencia instantánea contra el valor de $(T_f - T_a)/I$, en ésta gráfica se espera que sólo aparezca un punto pero se observa una dispersión de puntos en donde la máxima densidad de puntos, se encuentra en el intervalo para el eje "X" de 0.0023 a 0.0026 y siendo para el eje "Y" de 28 a 33 % por lo que el punto promedio para representarse en la gráfica final es el punto (0.0025,30).

El experimento 4 de este mismo grupo muestra en la fig.VII.6 los resultados de temperatura versus tiempo de muestreo, en esta figura también se observa el registro de sólo cuatro termopares, por las mismas razones que en el experimento 1. Se observa que las temperaturas se mantuvieron estables, la temperatura a la entrada del colector fue de 25°C con ± 0.4 °C de desviación. Este comportamiento tan homogéneo se explica observando la fig.VII.7 en donde se muestra la insolación contra el tiempo de muestreo. De aquí se observa que la insolación se mantuvo constante en el rango de 750 W/m² con una desviación de ± 10 W/m² Por ello es que la temperatura a lo largo del colector se mantuvo invariante en el tiempo.

La fig.VII.8 representa la eficiencia puntual contra tiempo. Como era de esperarse, del análisis de las gráficas anteriores es constante en el intervalo de 48 % con una desviación de ± 2 %. En la fig.VII.9 donde se presenta la eficiencia instantánea contra el valor de $(T_f - T_a)/I$, se observa que la alta densidad de

TEMPERATURA DEL FLUIDO

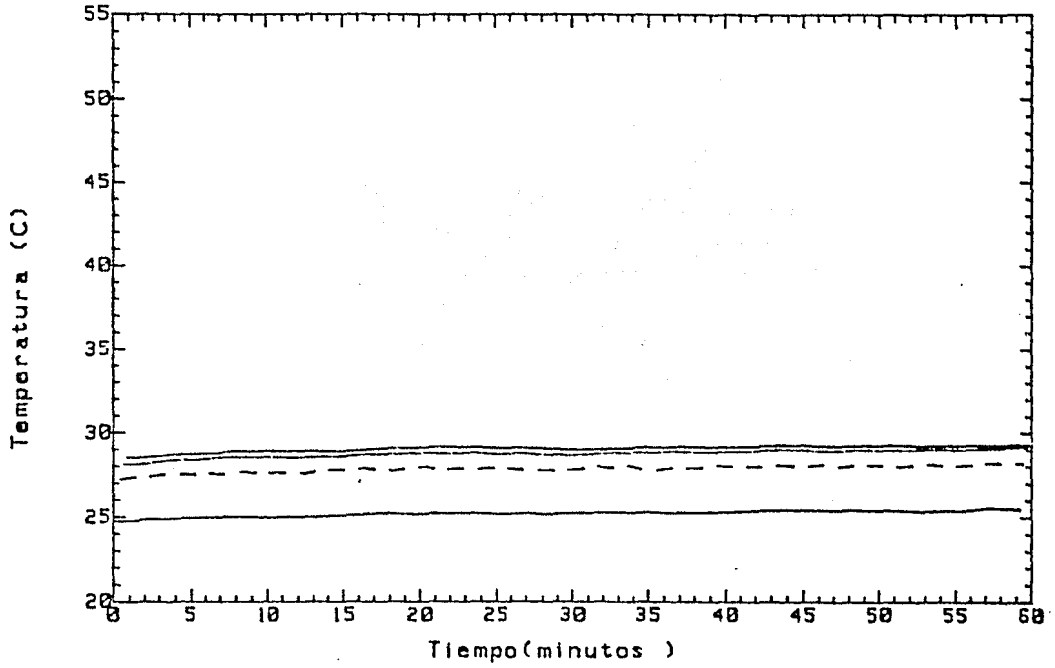


FIGURA VII.6 TEMPERATURA CONTRA TIEMPO DEL EXPERIMENTO 4

INSOLACION

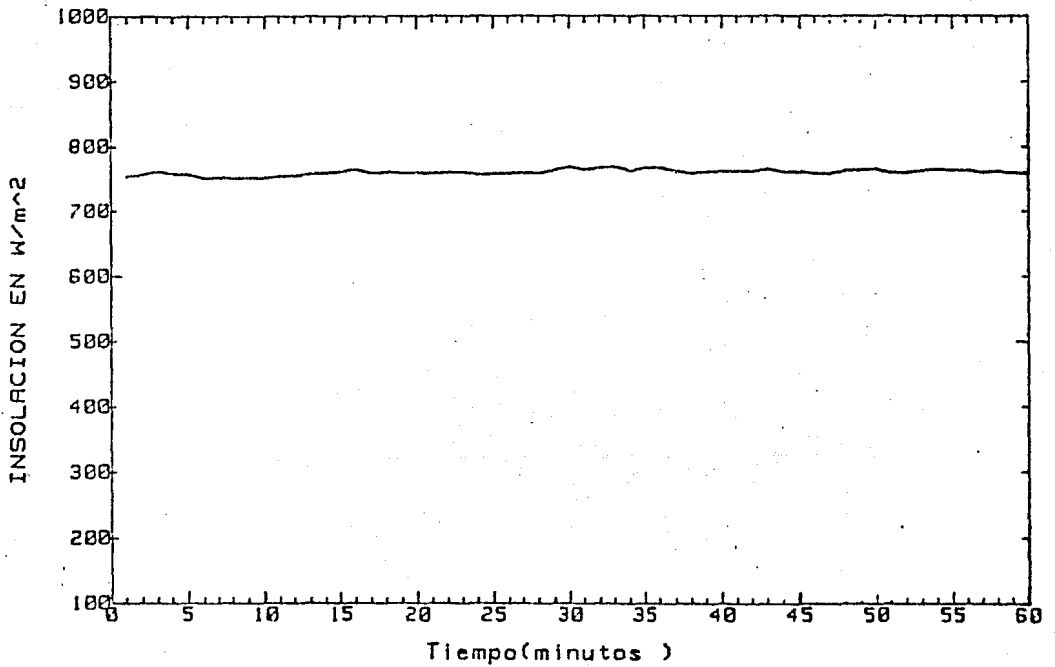


FIGURA VII.7 DATOS DEL EXPERIMENTO 4

EFICIENCIA

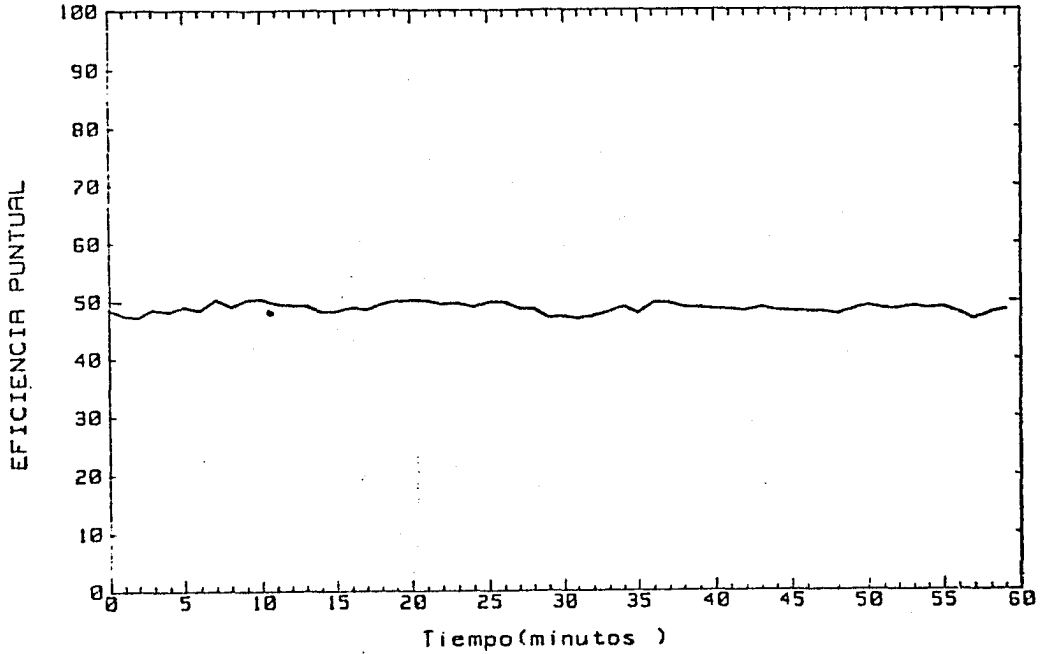


FIGURA VII.8 DATOS DEL EXPERIMENTO 4 DEL GRUPO A

EFICIENCIA VS $(T_f - T_a) / I$

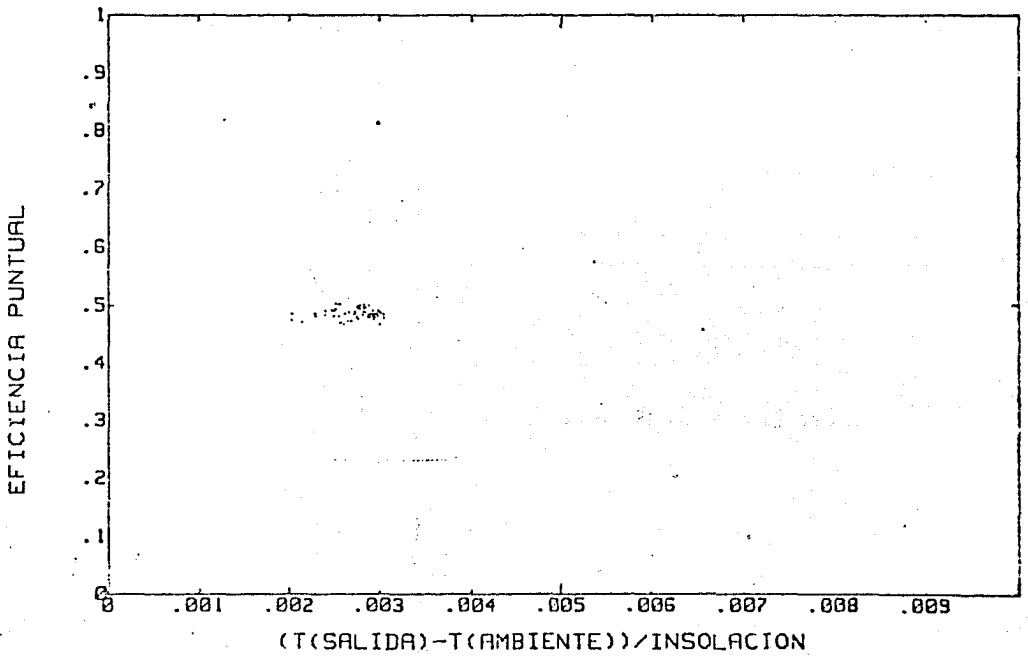


FIGURA VII.9 DATOS DEL EXPERIMENTO 4 DEL GRUPO A

puntos está en un intervalo muy bien delimitado, que para el eje "X" da el intervalo: 0.0033 a 0.0036 y para el eje "Y" está situado dentro del 48 al 50 % .

Examinando ahora los resultados obtenidos de los experimentos del bloque B, se encuentra que el sistema de control de temperatura del fluido de trabajo se mantiene a una temperatura de $25.5^{\circ}\text{C} \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ la cual se aprecia claramente en la fig. VII.10 obtenida del experimento 11. En esta misma figura se observa que el resto de las temperaturas en el captador también se mantienen constantes, una vez que el sistema ha alcanzado su estado permanente. Esto se debe a que la radiación solar permaneció constante, (ver fig. VII.11) como se discutió anteriormente.

Analizando ahora el segundo experimento de este grupo B, se observa de la fig.VII.12 donde se gráfica la temperatura contra tiempo, que la temperatura de salida del colector así como los demás temperaturas tienen fluctuaciones en los primeros 37 min., después de los cuales, se tiene una drástica caída de las temperaturas. Este fenómeno se explica una vez más observando la fig.VII.13 de insolación contra tiempo y constatamos que se tiene un intervalo de insolación con fluctuaciones y que al minuto 36 se tiene una caída de insolación hasta 200 W/m^2 , teniendo una temperatura a la salida del colector de 26°C y para el caso en que se presentó máxima insolación de 850 W/m^2 la temperatura a la salida del colector fue de 30.5°C . Así mientras que por la nubosidad la insolación disminuye de 850 a 200 W/m^2

TEMPERATURA DEL FLUIDO

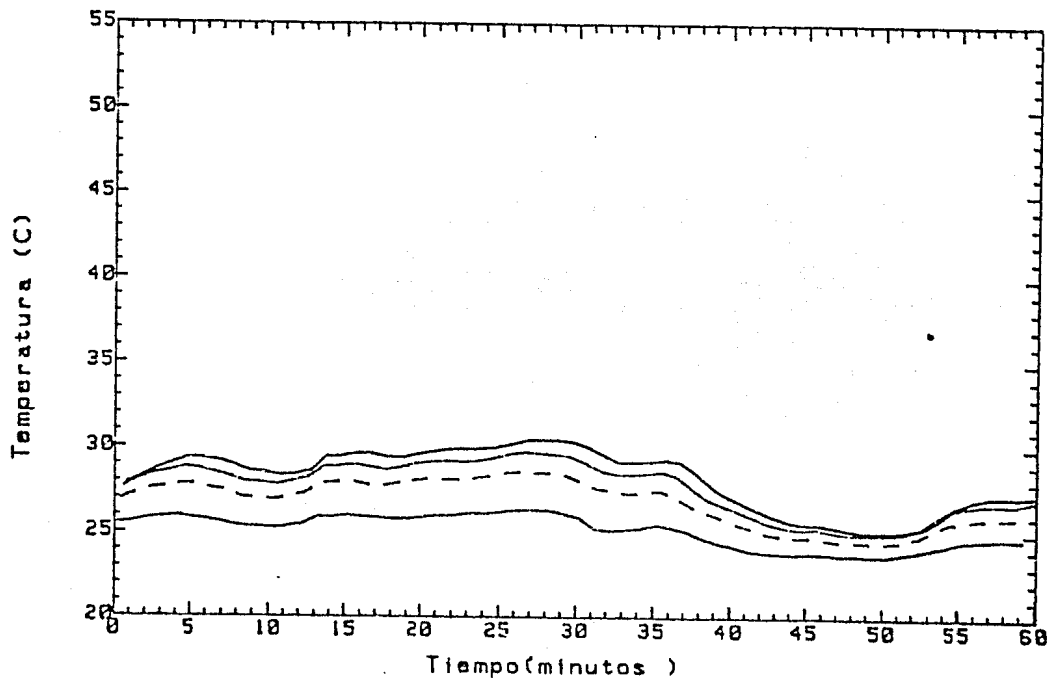


FIGURA VII.10 DATOS DEL EXPERIMENTO 10 DEL GRUPO B DE LA TABLA VII.1

INSOLACION

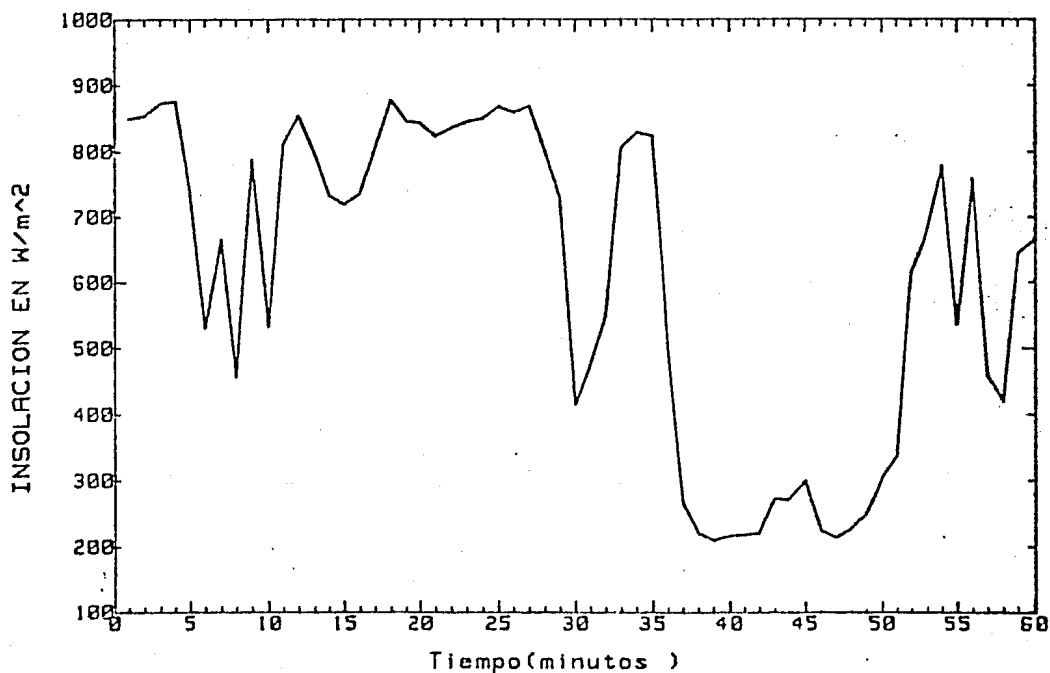


FIGURA VII.11 DATOS DEL EXPERIMENTO 10 DEL GRUPO B

TEMPERATURA DEL FLUIDO

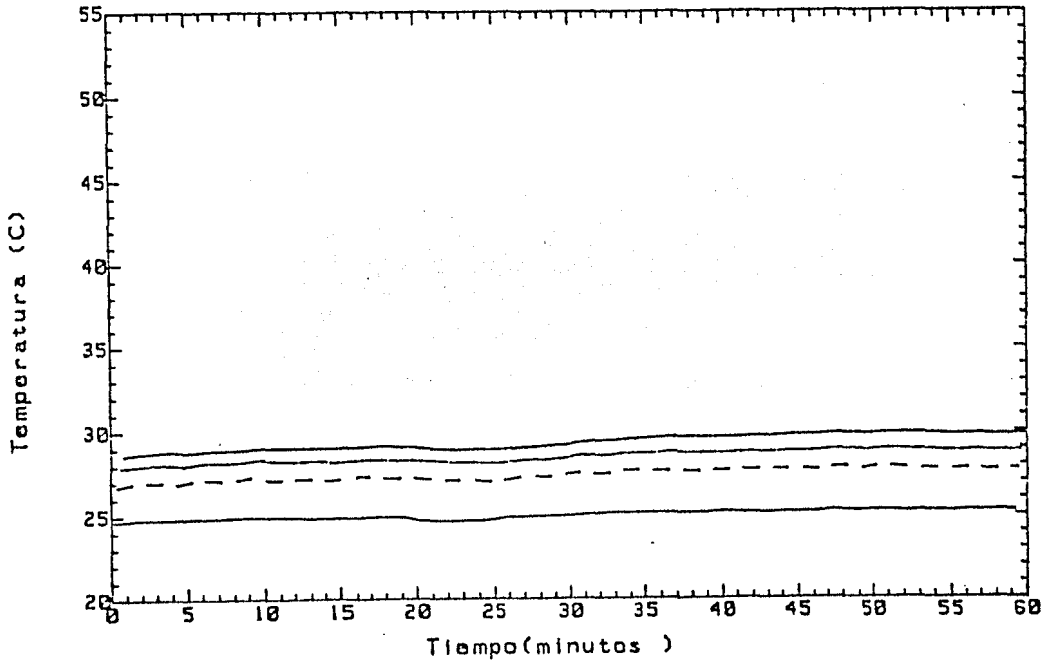


FIGURA VII.12 DATOS DEL EXPERIMENTO 11 DEL GRUPO B

INSOLACION

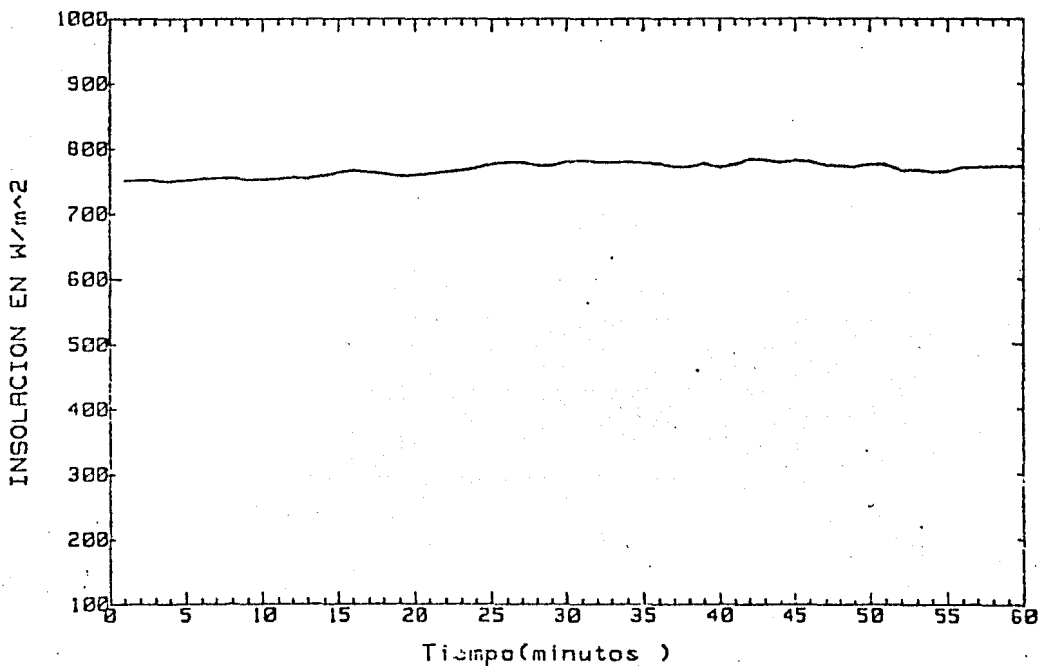


FIGURA VII. 13 DATOS DEL EXPERIMENTO 11 DEL GRUPO B DE LA TABLA VII.1

la temperatura del colector solo disminuye 2.0 °C. Las gráficas de eficiencia instantánea contra el tiempo así como la de eficiencia puntual contra el factor de $(T_f - T_a)/I$ para los dos experimentos demuestran lo antes ya mencionado.

Del grupo D se eligieron los experimentos 19 y 28 para ser analizados en detalle. El muestreo de cada uno de los experimentos realizados en este grupo, tiene el objetivo de ampliar la información acerca de la forma de la gráfica de eficiencia promedio contra el factor $(T_f - T_a)/I$, que se mostrará al final de este capítulo. Los resultados encontrados en los experimentos 19 y 28 fueron satisfactorios tal como se muestra en la fig.VII.14 de temperatura versus tiempo. En esta gráfica aparece el registro de las siguientes temperaturas: ambiente (A), del fluido de trabajo a la entrada del colector (B), a 25 cm (C), después de la entrada, a 50 cm después de la entrada al colector (D), a 75 cm después de la entrada (E) y finalmente se muestra la temperatura a la salida del colector (F). En el experimento 19 la temperatura a la entrada del colector se registra una pequeña oscilación de 37 a 38 grados centígrados debida al cambio en la insolación (ver fig.VII.15). En el experimento 28 la temperatura a la entrada del colector fue de 42.0 °C \pm 0.5 °C; en este también se presentan las seis lecturas de temperaturas en las mismas posiciones que para el caso anterior, tal como se muestra en la fig. VII.16. También aquí, se presenta una disminución en la temperatura que se mantuvo durante ocho minutos y la fig.VII.17 de insolación contra tiempo presenta la misma caída drástica de la insolación con una duración de 7min.

TEMPERATURA DEL FLUIDO

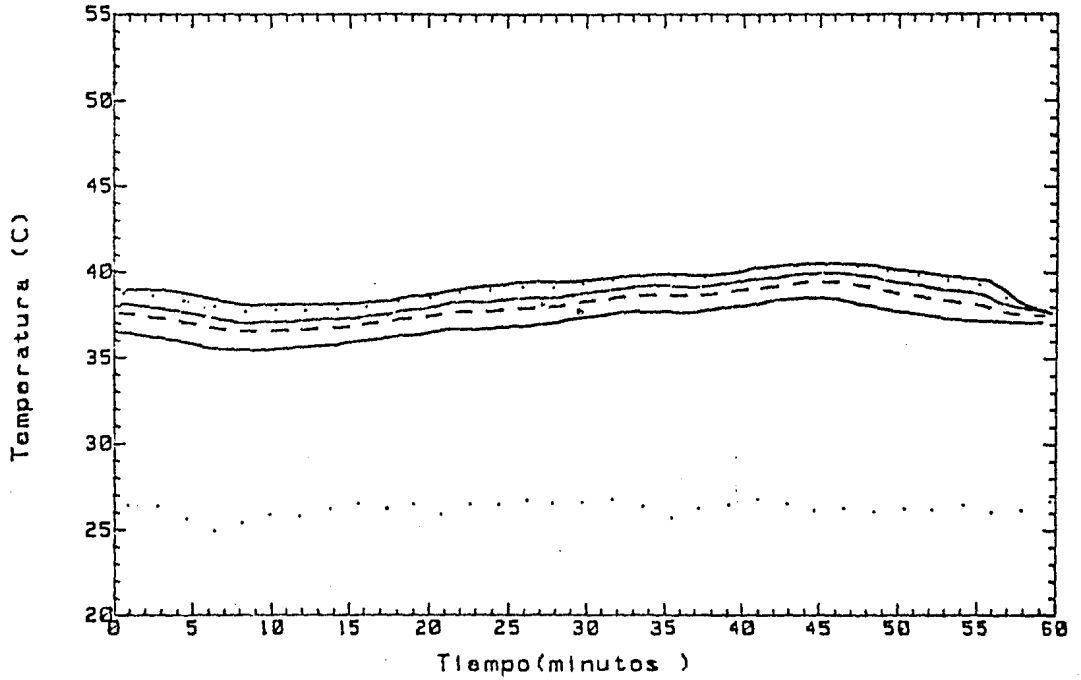


FIGURA VII.14 DATOS DEL EXPERIMENTO 19 DEL BLOQUE D DE LA TABLA VII.1

INSOLACION

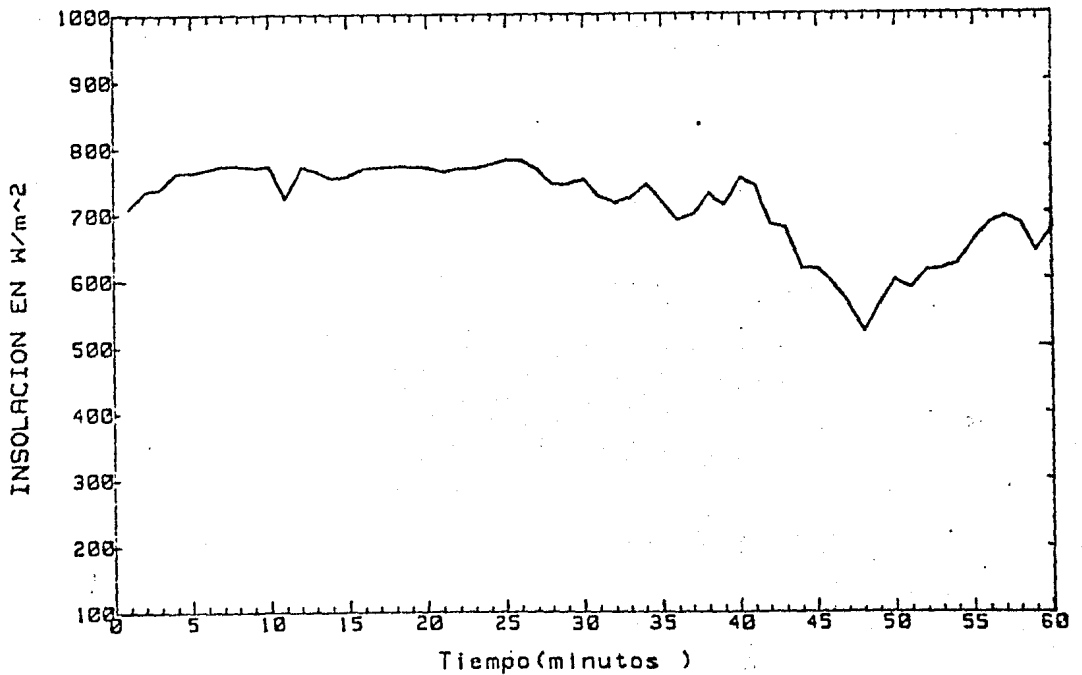


FIGURA VII.15 DATOS DEL EXPERIMENTO 19

TEMPERATURA DEL FLUIDO

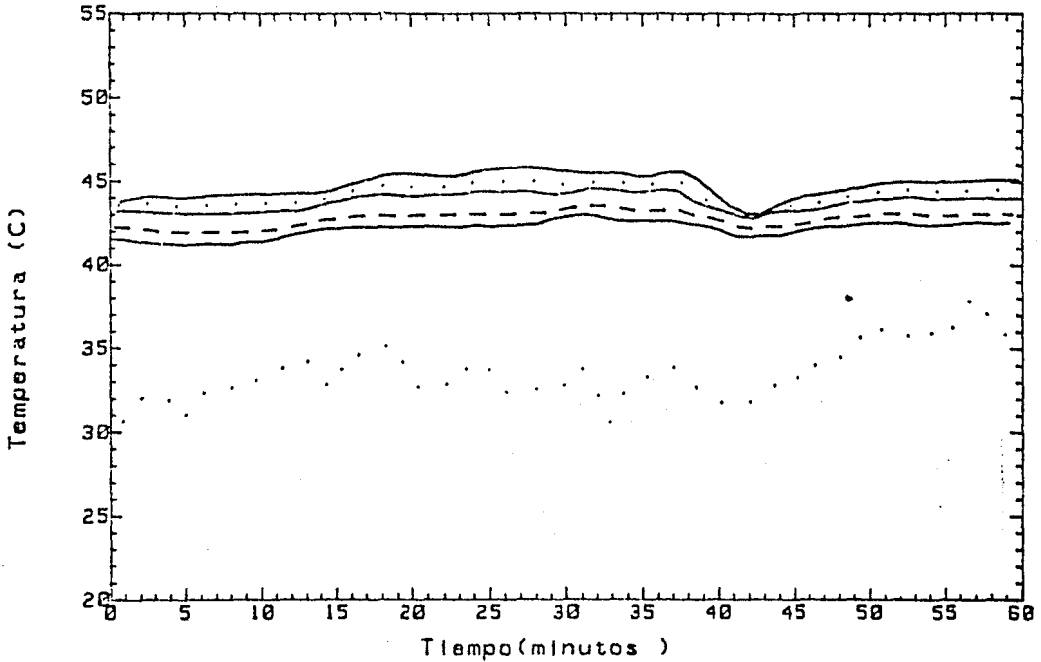


FIGURA VII.16 DATOS DEL EXPERIMENTO 28 DEL GRUPO D DE LA TABLA VII.1

INSOLACION

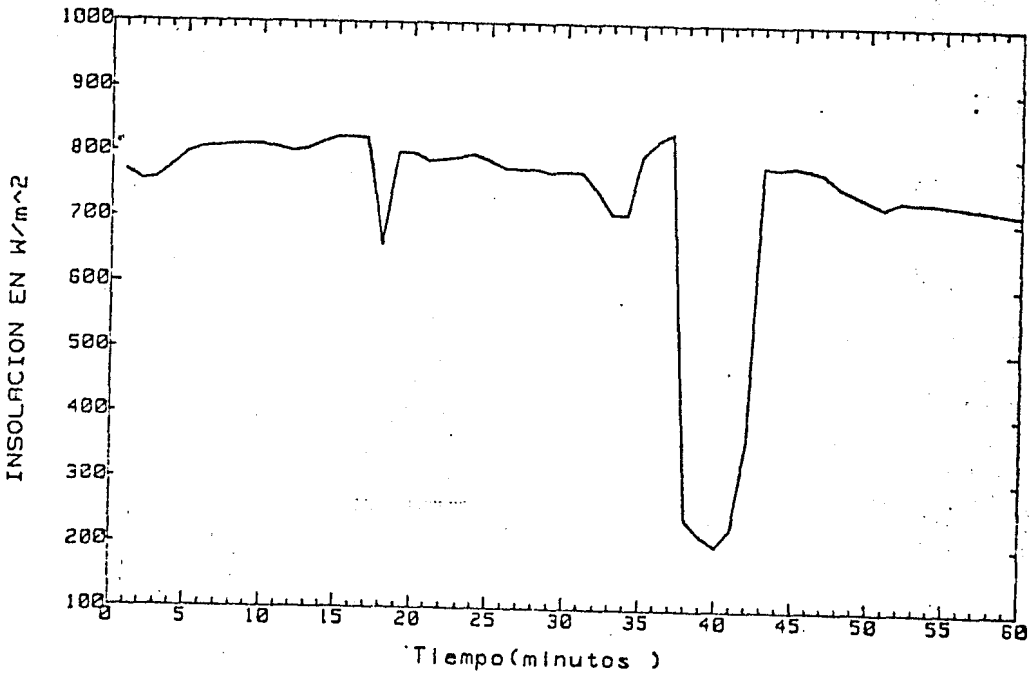


FIGURA VII.17 DATOS DE INSOLACION CONTRA TIEMPO DEL EXPERIMENTO 28

Para analizar el grupo E de experimentos se eligieron a los reportados con el número 34 y 36. El objetivo de ésta serie de experimentos, es el de comprobar la eficiencia del colector en orientación este-oeste y su efecto con el reflector truncado. En el experimento número 34, la temperatura a la entrada del colector fue de $24^{\circ}\text{C} \pm 0.4^{\circ}\text{C}$ y se observa en la fig. VII.18 dos caídas de temperatura de tiempos muy cortos (4.0 min.). El resto del experimento se matuvo constante por el comportamiento de la insolación (ver fig. VII.19).

En el experimento 36 la temperatura del agua a la entrada del concentrador fue de $45^{\circ}\text{C} \pm 0.4^{\circ}\text{C}$. Este experimento se realizó a una mayor temperatura para observar el comportamiento del colector a altas temperaturas, tanto la insolación como las temperaturas se mantuvieron constantes como se puede observar en las fig. VII.20 y VII.21.

Finalmente para la caracterización del colector se realizó el grupo F de experimentos en los cuales se muestra el comportamiento del C.P.C. Para este análisis se tomaron los experimentos con el número 37 y 40. En el experimento 37 la temperatura de entrada al colector fue de $26^{\circ}\text{C} \pm 0.4^{\circ}\text{C}$, tal como se observa en la fig. VII.22. El comportamiento fue invariante debido a que la insolación se mantuvo de igual forma en el rango de 800 a 900 W/m^2 como se puede ver en la fig. VII.23. En el experimento 40 la temperatura a la entrada del colector fue $33^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ el incremento de la temperatura a la entrada del colector respecto al experimento anterior fue para obtener la gráfica de eficiencia promedio contra el factor de $(T_f - t_a)/I$. En la

TEMPERATURA DEL FLUIDO

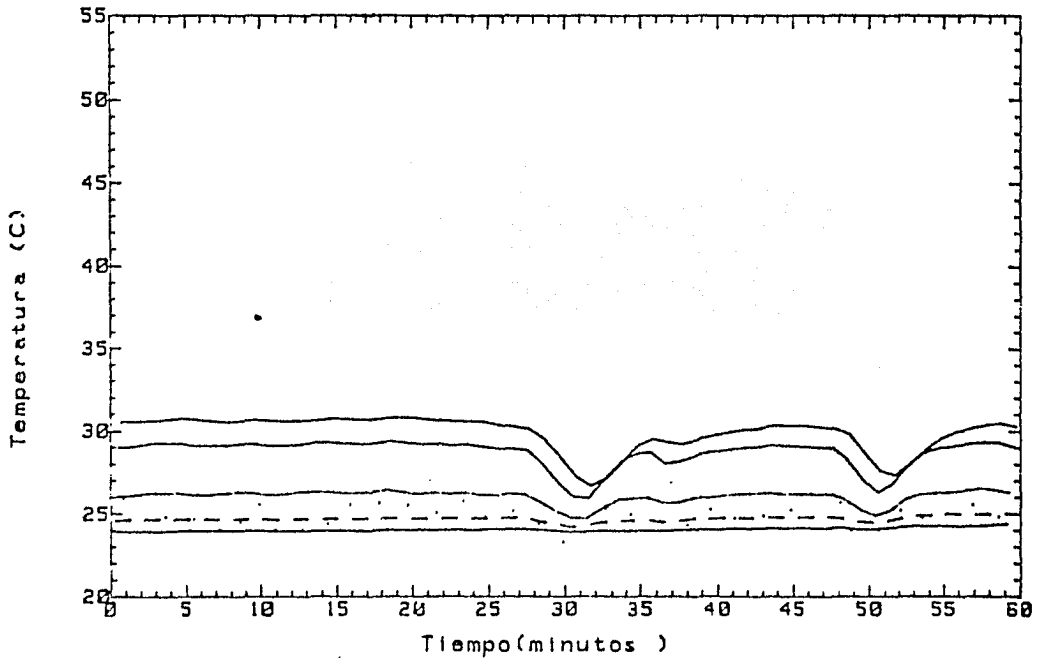


FIGURA VII.18 DATOS DE TEMPERATURA A LO LARGO DEL ABSORBEDOR DEL EXPERIMENTO 34
DEL GRUPO E DE LA TABLA VII.1

INSOLACION

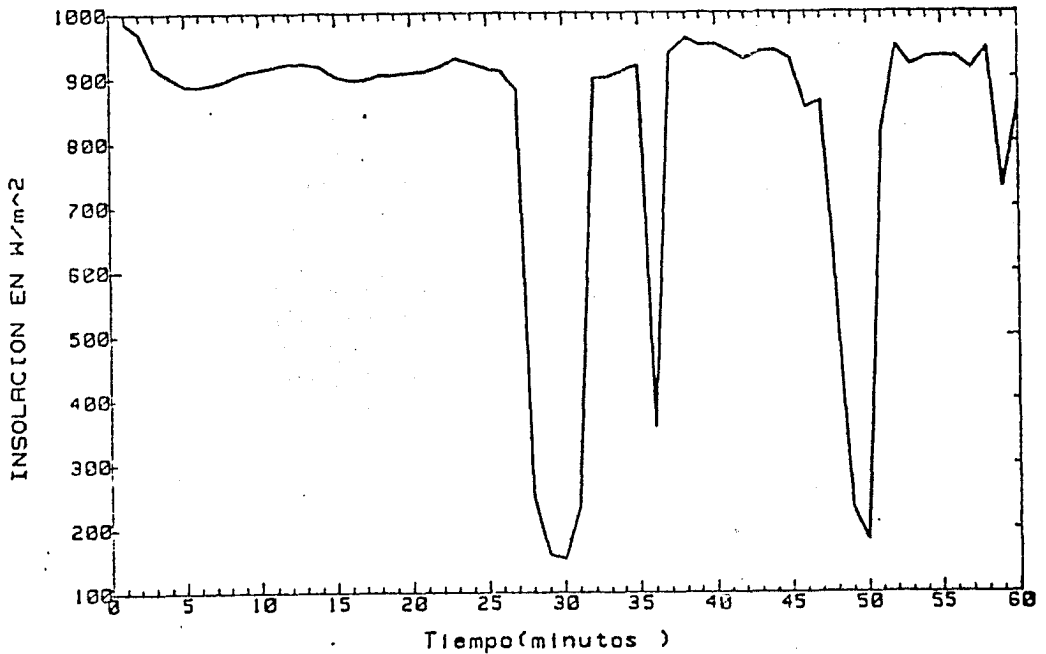


FIGURA VII.19 INSOLACION CONTRA TIEMPO DE MUESTREO DEL EXPERIMENTO 34

TEMPERATURA DEL FLUIDO

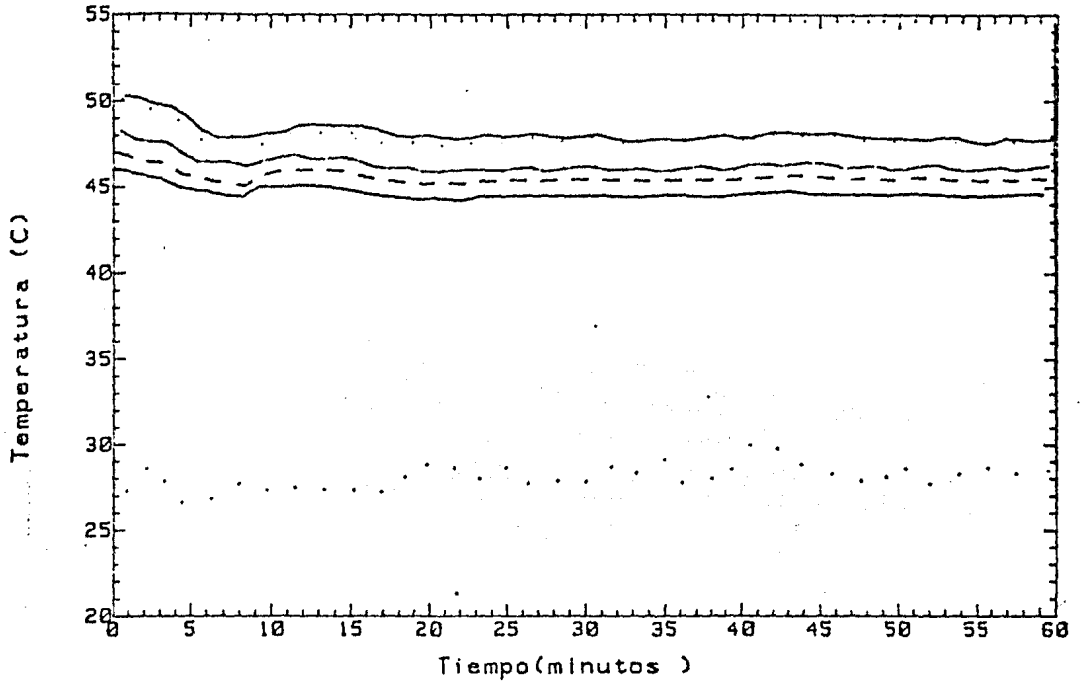


FIGURA VII.20 TEMPERATURA CONTRA TIEMPO DE MUESTRA DEL EXPERIMENTO 36

INSOLACION

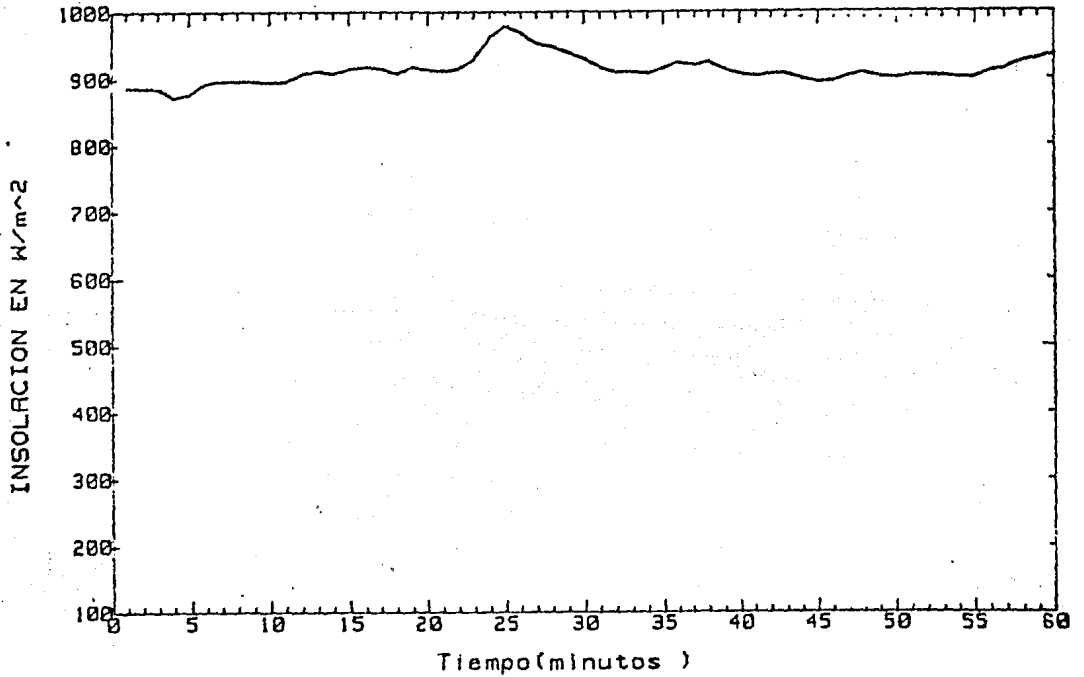


FIGURA VII.21 DATOS DE INSOLACION CONTRA TIEMPO DEL EXPERIMENTO 36

TEMPERATURA DEL FLUIDO

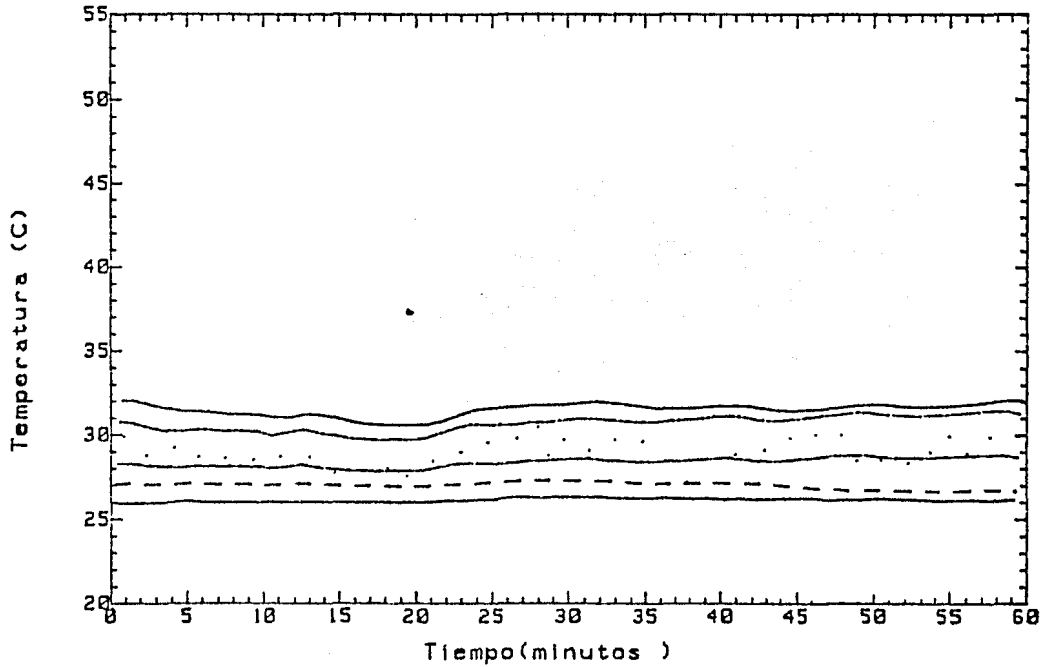


FIGURA VII.22 TEMPERATURA A LO LARGO DEL ABSORBEDOR DEL EXPERIMENTO 37 DEL GRUPO F DE LA TABLA VII.1

INSOLACION

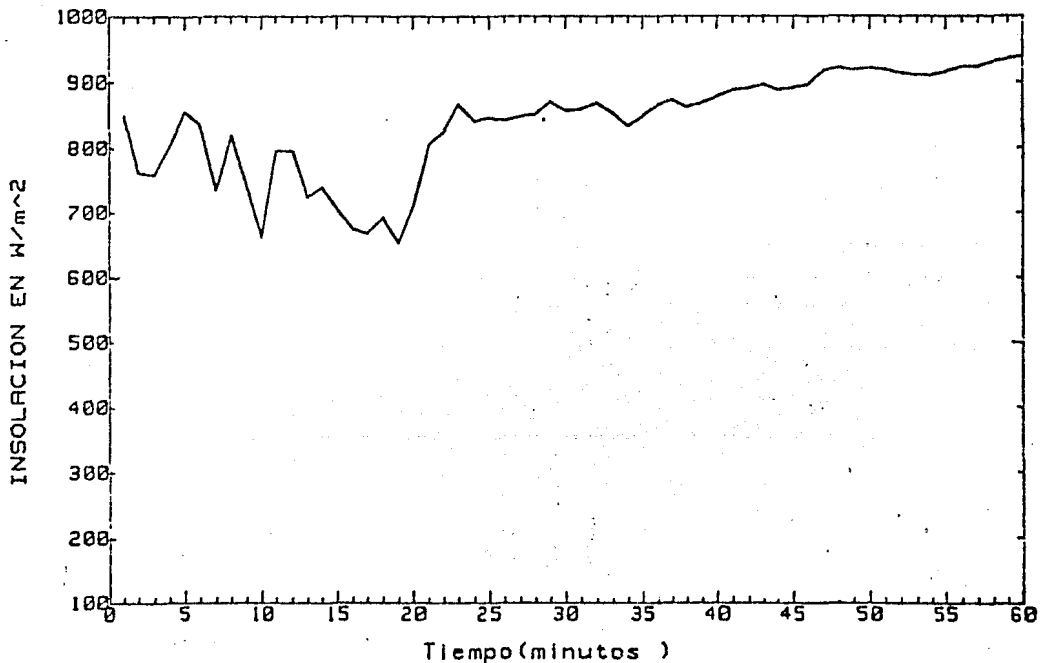


FIGURA VII.23 DATOS DE INSOLACION CONTRA TIEMPO DEL EXPERIMENTO 37

fig.VII.24 de temperatura contra tiempo se observan claramente dos grupos de estados, uno estable y otro inestable, cuyos intervalos de tiempo para los estados inestables estan en el rango de 5 a 7 min., también se observan ligeras fluctuaciones de ± 0.3 °C a lo largo del experimento. Estos resultados en las variaciones en la temperatura se deben a reducción de 1 a 2 min de la insolación tal como se observa en la fig.VII.25.

El resumen de todos los experimentos realizados para caracterizar al C.P.C. se encuentran representados en la fig.VII.26 donde se muestra la eficiencia contra $(T_f - T_a)/I$. En esta gráfica se comprueba que los resultados siguen un comportamiento lineal como era de esperarse ya que este hecho se discutió en el capítulo de normalización. Se observa que se tienen cinco rectas las cuales se representan por la ecuación:

La curva que representa a los datos de la fig.VII.26 es una recta cuya forma general es

$$n = a (T_f - T_a)/I + b$$

donde los valores de las constantes a y b para cada recta de la fig. VII.26 se resumen en la siguiente tabla.VII.3

TEMPERATURA DEL FLUIDO

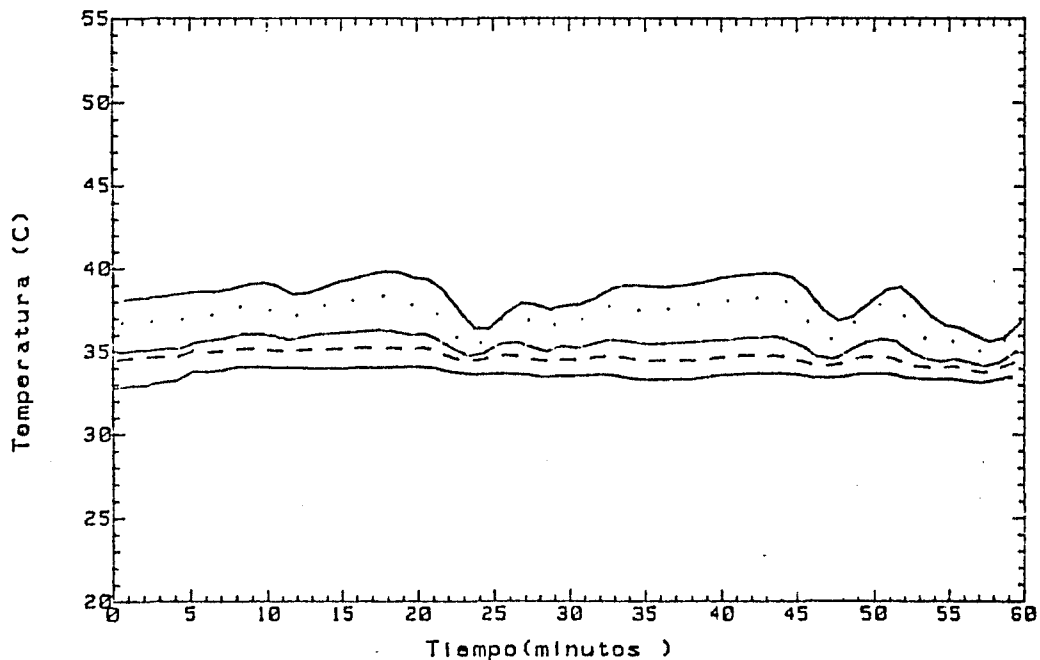


FIGURA VII.24 DATOS DE TEMPERATURA CONTRA TIEMPO DEL EXPERIMENTO 40 DEL GRUPO F DE LA TABLA VII.1

INSOLACION

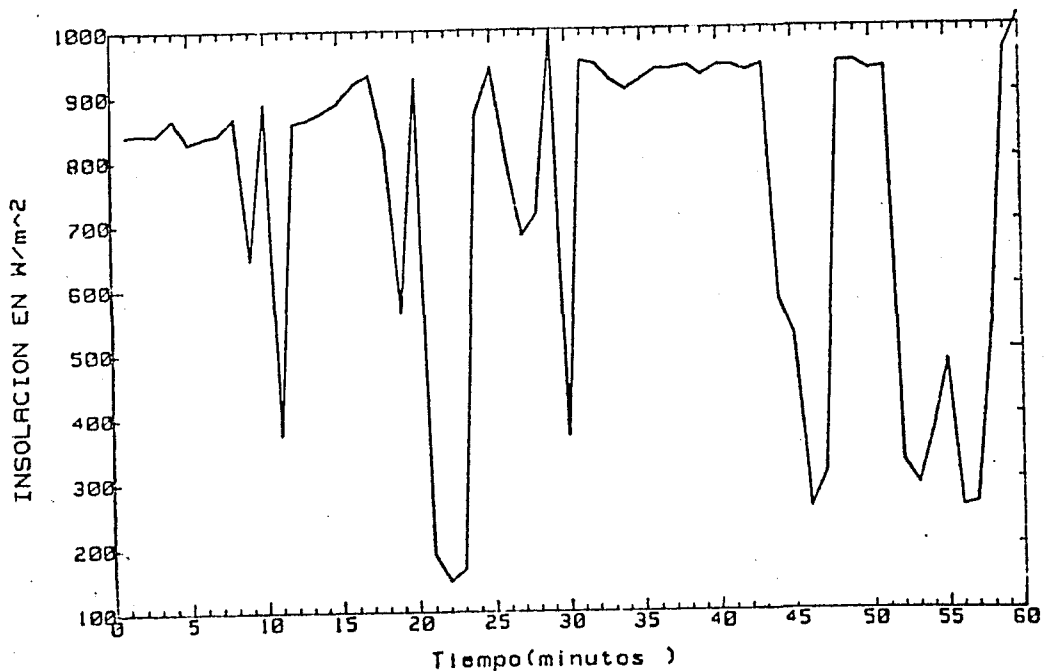


FIGURA 25 DATOS DE INSOLACION DEL EXPERIMENTO 40

EFICIENCIA VS $(T_f - T_a) / I$

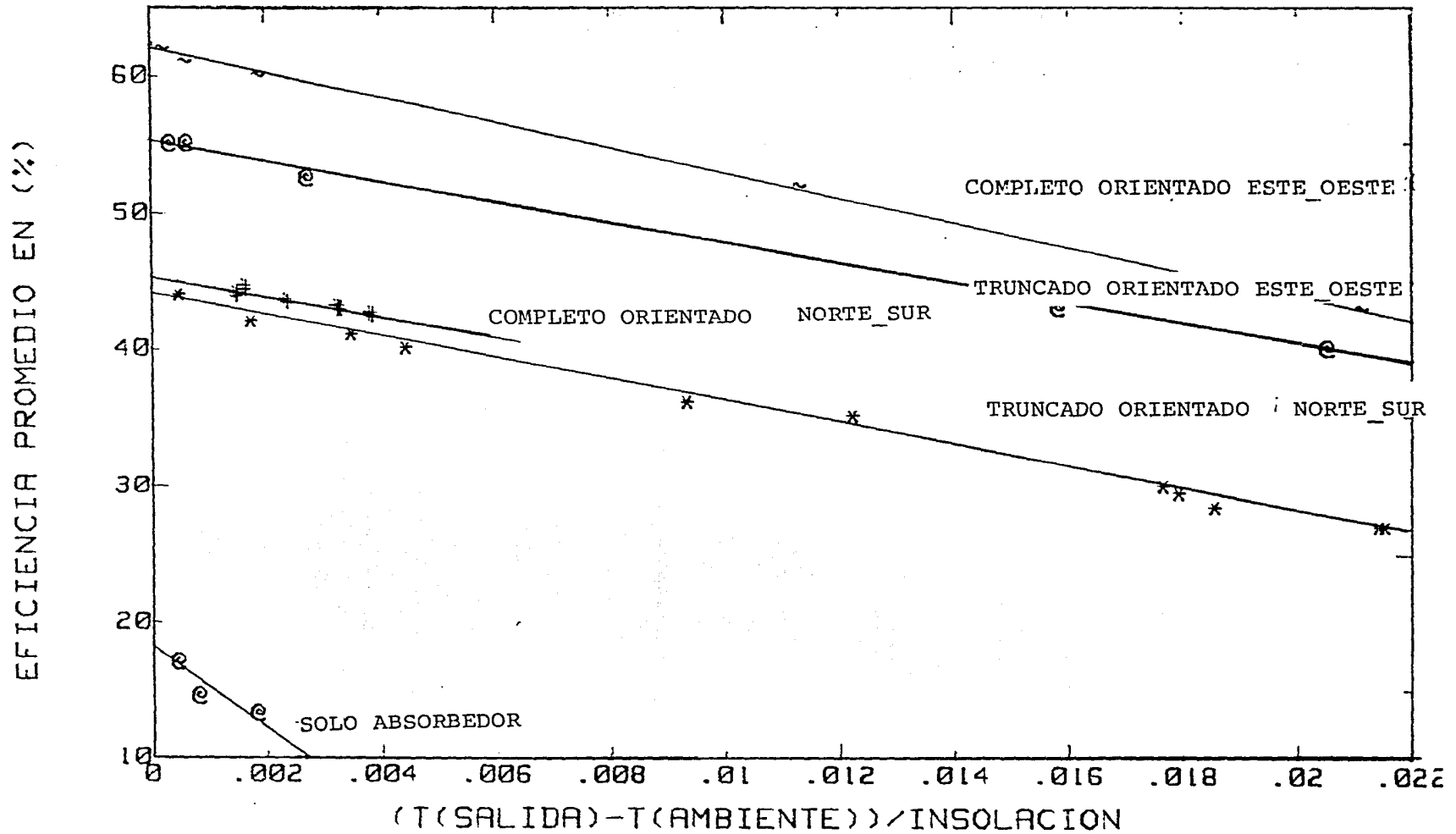


FIGURA VII.26 GRAFICA QUE REUNE TODOS LOS DATOS DE LOS EXPERIMENTOS MOSTRADOS EN LA TABLA VII.1

T A B L A V I I . 3

	A	B	C	D	E	F
a	45.45	42.50	17.81	42.50	55.21	62.00
b	-728.26	-722.90	-2429.74	-722.90	-735.00	-888.00
fac.	0.98	0.98	0.90	0.98	0.99	0.99

Tabla donde se reúnen los valores de las pendientes y ordenadas al origen de las rectas mostradas en la figura VII.26.

donde a es la ordenada al origen, b es la pendiente de la recta y fac. es el factor de correlación.

Las gráficas de temperatura como función de la distancia del absorbedor para cada grupo de experimentos se discute a continuación. A los datos graficados se les ajusto una curva de tipo exponencial de la forma:

$$T = a - b \text{ Exp } (c D)$$

donde:

a, b, c son constantes características para cada experimento analizado, T es la temperatura del absorbedor, D es la distancia del absorbedor.

Los valores de las constantes de los experimentos citados en este análisis son resumidos en las tabla VII.4.

Para el grupo A se realizo este análisis para el experimento 4, en donde se puede ver en la gráfica VII.27 como la curva teorica se ajusta perfectamente a la curva experimental, también se observa que para una longitud de 2.5m la temperatura del fluido a la salida del concentrador tiene un incremento del 27 % con respecto a la temperatura que tiene a la entrada. Así durante la longitud de 2.5 m el fluido tienen un incremento consistente.

Para el grupo B se tomo al experimento 11. En la figura VII.28 se muestra su gráfica de temperatura versus distancia el incremento de la temperatura del fluido de trabajo a una longitud de 2.5m es de el 25.0% con respecto a la que tenia en la entrada del colector. Para el el grupo D se eligio el experimento 28 en la

T A B L A V I I . 4

GRUPO	EXPERIMENTO	a	b	c
A	4	50	27.5	0.145
B	11	50	24.8	0.155
D	28	55	13.5	0.225
E	36	55	9.0	0.620
F	38	55	25.0	0.270

Valores de las constantes de las curvas que se ajustan a los datos experimentales, la forma general de la curva es:

$$T = a - b * \exp(c * D)$$

donde; D es la distancia del absorbedor, T es la temperatura y a,b,c son las constantes de la tabla.

TEMPERATURA DEL FLUIDO A LO LARGO DEL ABSORBEDOR

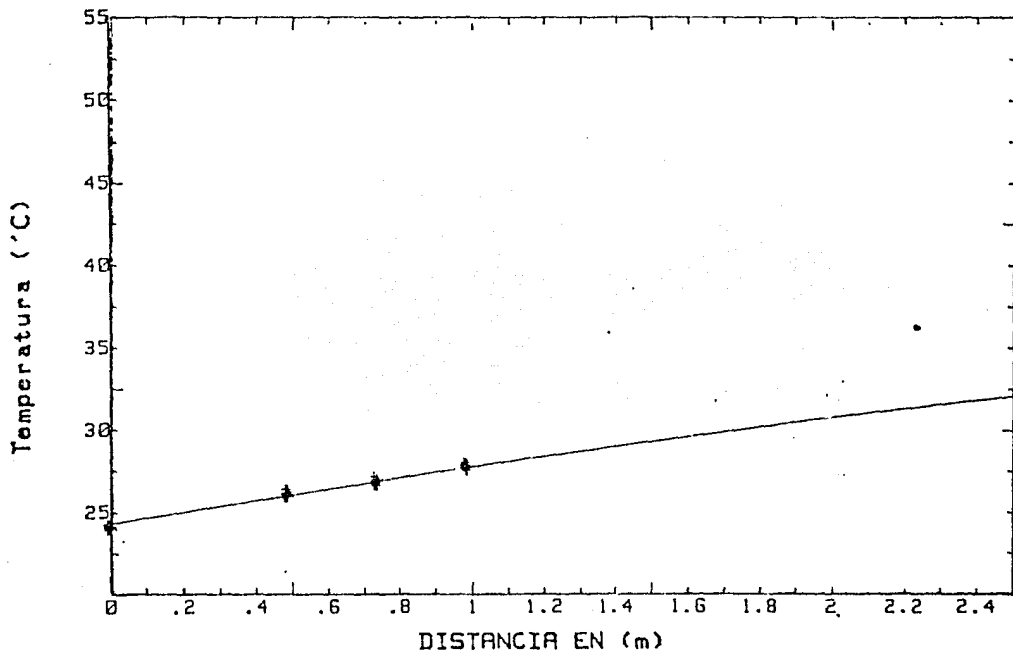


FIGURA VII.27 DATOS DEL EXPERIMENTO 4 DEL GRUPO A

TEMPERATURA DEL FLUIDO A LO LARGO DEL ABSORBEDOR

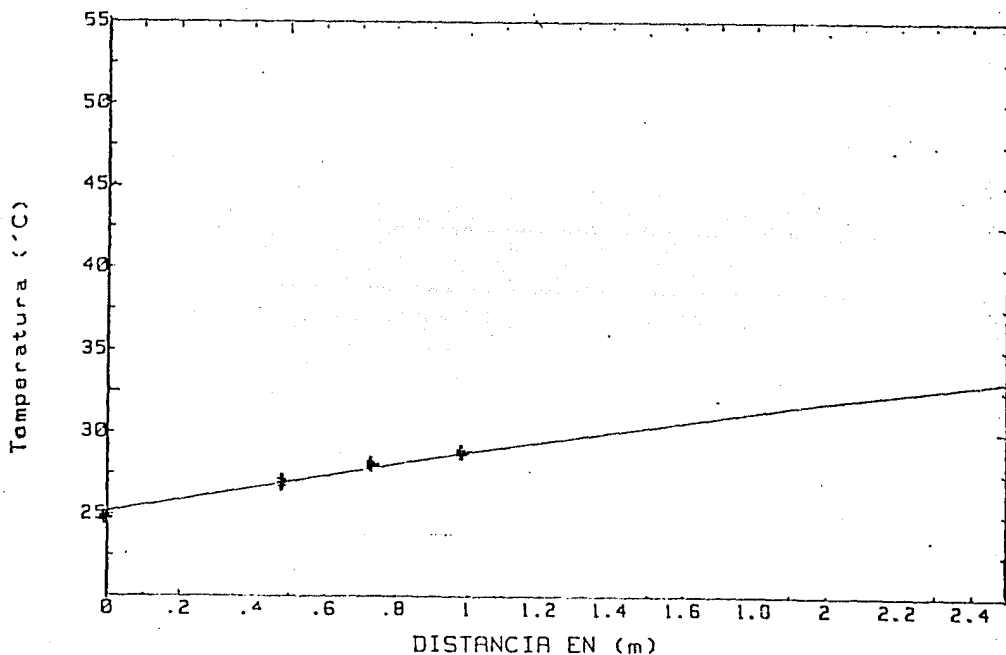


FIGURA VII.28 DATOS DE EXPERIMENTO 11 DEL GRUPO B

figura VII.29 se muestra su gráfica de temperatura vs distancia. En esta figura se puede observar que la temperatura del fluido del colector tiene una temperatura de 42°C y a una distancia de 2.5 m la temperatura es de 47.5 teniendo solo un incremento del 12% con lo que se puede decir que cuando se tiene medianas temperaturas del fluido de trabajo a la entrada del colector se tendrá un incremento insignificante.

Para el grupo E se eligió al experimento 36 y se muestra la gráfica de temperatura vs distancia en la figura VII.30 en este experimento la temperatura del agua a la entrada del C.P.C. es de 46°C y después de 2.5 m es de 53 teniendo así solo un incremento en la temperatura de 14%, una vez más se comprueba que el funcionamiento del concentrador se demerita cuando la temperatura del fluido de trabajo a la entrada del colector está por arriba de 40°C .

En el experimento 38 del grupo F mostrado en la tabla VII.1. Se muestra en la figura VII.31 la gráfica de temperatura versus distancia. La temperatura del agua a la entrada del C.P.C. es de 26°C , y a 2.5 m es de 38°C teniendo un incremento del 32%. Con este resultado tenemos que la temperatura se incrementa más rápidamente cuando la temperatura del fluido de trabajo es menor a 27°C .

TEMPERATURA DEL FLUIDO A LO LARGO DEL ABSORBEDOR

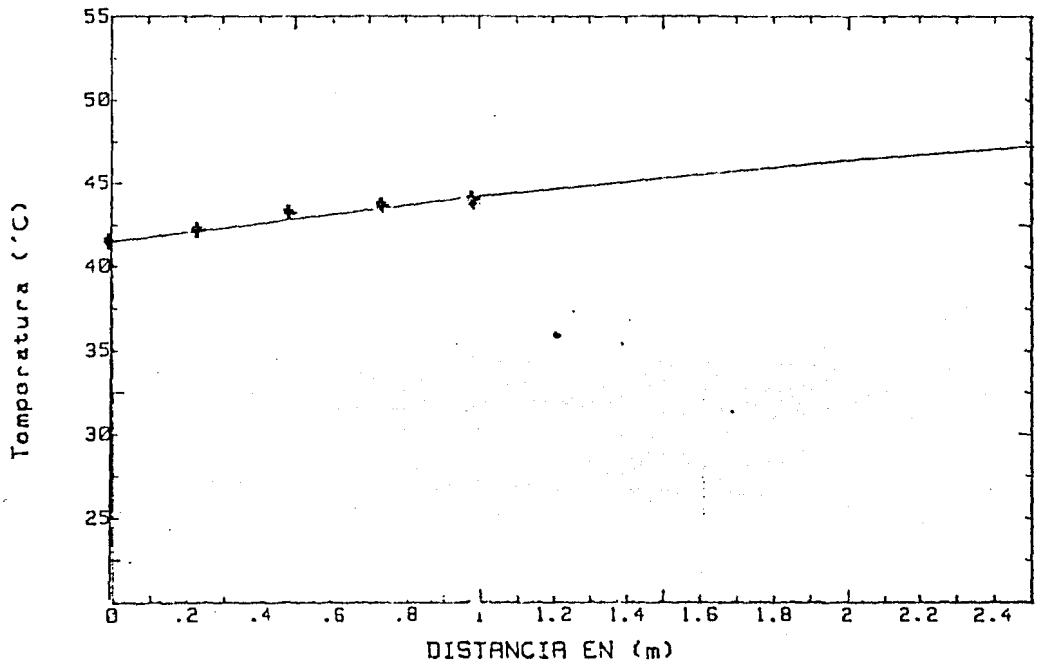


FIGURA VII.29 DATOS DEL EXPERIMENTO 28 DEL GRUPO D

TEMPERATURA DEL FLUIDO A LO LARGO DEL ABSORBEDOR

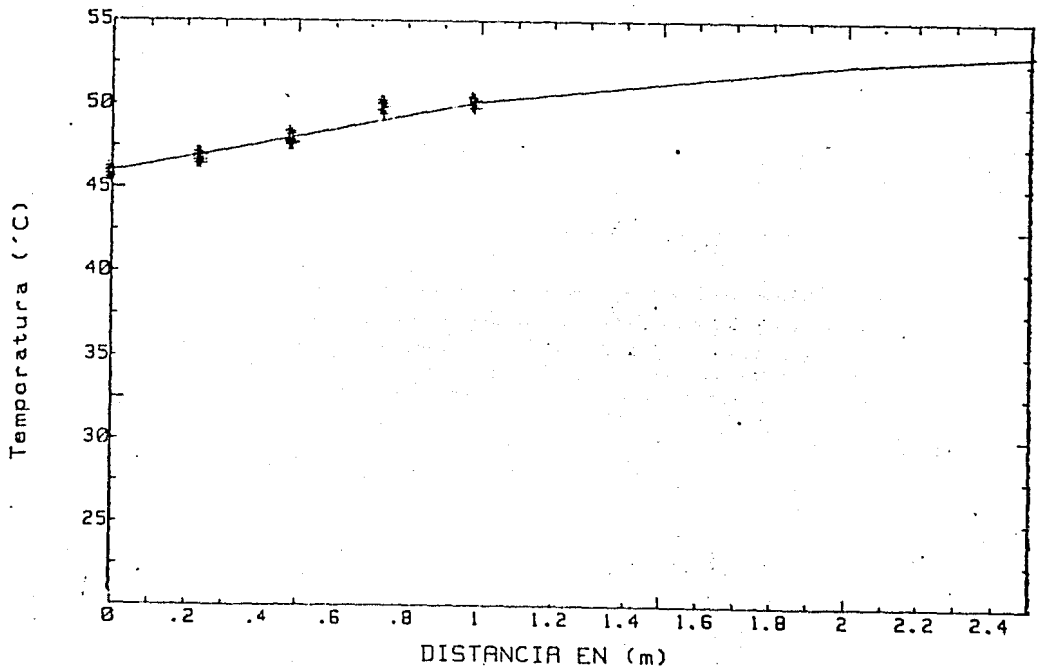


FIGURA VII.30 DATOS DEL EXPERIMENTO 36 DEL GRUPO E

TEMPERATURA DEL FLUIDO A LO LARGO DEL ABSORBEDOR

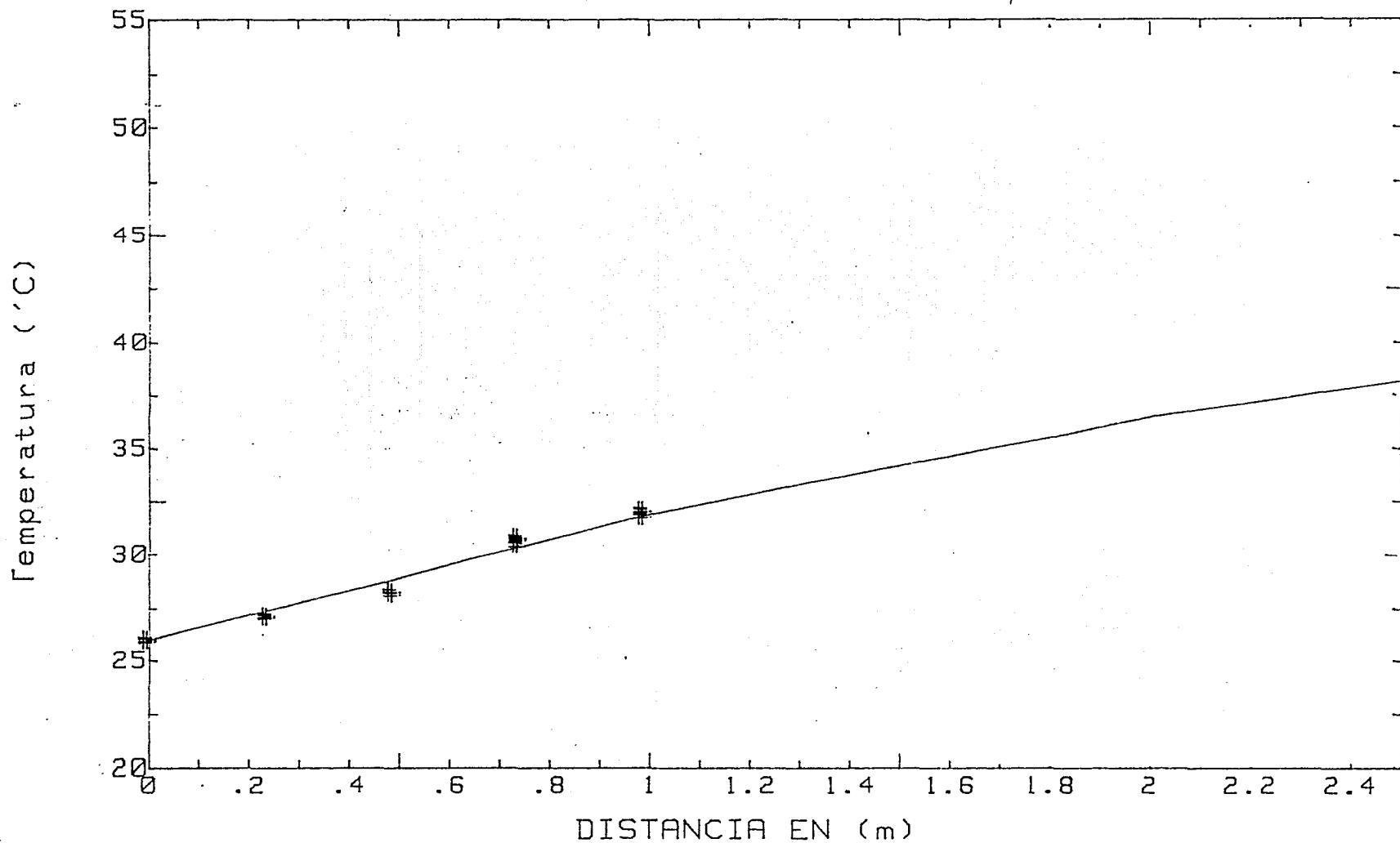


FIGURA VII.31 DATOS DEL EXPERIMENTO 38 DEL GRUPO F

VIII.

CONCLUSIONES

Los objetivos planteados en el inicio de este trabajo se alcanzaron satisfactoriamente, como lo demuestra cada uno de los capítulos y anexos de este estudio.

Como se puede observar en la tabla VII.1 la orientación en la cual se tiene una mayor eficiencia es este-oeste y que el efecto producido al disminuir la altura del C.P.C. en un 40 % solo afecta en un 11.0% +/- 2%, lo cual es compensable con el ahorro económico del material eliminado.

T A B L A V I I

ORIENTACION	EFICIENCIA η (%)		PERDIDA DE EFICIENCIA % COMPLETO TRUNCADO POR EFECTO DE TRUNCAMIENTO
	ORIGINAL	TRUNCADO	

Norte-Sur	47.0	44.0	6.6 %
este-oeste	62.0	55.0	11.0 %

El estudio realizado para encontrar la longitud óptima del absorbedor revela que si la temperatura del fluido de trabajo a la entrada del colector está en el intervalo de 24 a 25.5 °C el

incremento de la temperatura como función de la distancia es de forma aproximadamente lineal. Esto es, para una longitud del absorbedor de 2.5 m se tiene todavía incremento en la temperatura del fluido, pero si la temperatura del fluido de trabajo a la entrada del colector se encuentra entre 43 a 45 °C, el incremento de la temperatura del fluido como función de la distancia tiene un comportamiento practicamente asintótico. Esto es, el incremento en la temperatura del agua es despreciable después de 2.0 m de longitud del absorbedor.

RECOMENDACIONES

La forma como se construyo el C.P.C. prototipo para este estudio, no es la más apropiada ya que su construcción requiere de técnicos calificados para su manufactura y su producción es limitada, también otra de las desventajas que se tiene al construir por este sistema el colector es que el error de forma de construcción es considerable.

La construcción del perfil si se desea hacer su producción en forma comercial debe hacerse por inyección de plástico al cual se le deposita una superficie reflejante de cromo.

A N E X O I

En este anexo, se muestra el programa de computadora, que evalúa las funciones que describen el contorno del C.P.C. para el caso particular de un absorbedor de sección transversal circular, así como el análisis de la radiación que incide sobre el absorbedor. Este se logra por medio del trazado de rayos. El análisis de trazado de rayos se establece para los dos casos siguientes:

- i.- Cuando la superficie del reflector no tiene rugosidad alguna.
- ii.- Cuando la superficie del material con que se contruye el reflector tiene una rugosidad inherente.

El programa también incluye el caso en el que se trunca el reflector del C.P.C.

El programa fue realizado en lenguaje "Basic" para microcomputadoras Apple II plus y Hewlett Packard serie 9000 tipo 216. En esta última se obtienen los resultados finales. A continuación se listan las variables del programa y su significado, en seguida se muestra un listado y finalmente un ejemplo del funcionamiento del programa.

variable	significado
----------	-------------

A	Porcentaje que se trunca de la longitud de apertura de entrada original.
Adf2	Ángulo de la recta tangente en el punto de intersección entre perfil y el rayo
Alturacom	Altura del C.P.C. completo.
Alturatra	Altura del C.P.C. truncado.
At	Ángulo de apertura máxima para el C.P.C truncado
Concentración	Concentración deseada en el absorbedor
Dt	Derivada del parámetro T
DX, DY	Derivado de las variables X, Y
Ic	Ángulo de intersección entre la curva de la involuta y la parábola.
Li	Longitud de apertura de entrada del C.P.C. completo
Lt	Longitud de apertura de entrada del C.P.C. truncado.
Mi	Ángulo de incidencia del rayo a analizar
Nt	Ángulo de la normal a la recta tangente
Op	Opción para discernir entre C.P.C. completo o truncado.
Radio	Radio del absorbedor
Relación	Relación de longitud del C.P.C. truncado y completo

Rpr	Radio de alcance del rayo reflejado.
Si	Opción para hacer el análisis con factor de error
T	Distancia de un punto del perfil del C.P.C. a un punto tangente al absorbedor.
X(Z),Y(Z)	Coordenadas de los puntos que grafican el contorno del C.P.C. completo.
Xc,Yc	Coordenadas del punto último del C.P.C. completo.
Xt,Yt	Coordenadas del punto donde finaliza el contorno del C.P.C. truncado.
Xe(F),Ye(F)	Coordenadas de los puntos que grafican el contorno del absorbedor.
Xz,Yz	Coordenadas del punto mínimo del C.P.C.
X3,Y3 = X6,Y6	Coordenadas del punto donde se intersecta el rayo con el perfil.
X5,Y5	coordenadas de donde se inicia el rayo
X7,Y7	Otro punto de la recta tangente al punto de intersección
X8,Y8	Un punto de la recta normal a la recta tangente
X9,Y9	Coordenadas del rayo reflejado
W	Ángulo del parámetro T donde el rayo intersecta al perfil del C.P.C.
Z1	Ángulo del parámetro T donde se presenta el mínimo del C.P.C.

Alfa	Ángulo entre la recta normal y rayo
Gama	Ángulo entre la recta normal y la recta tangente
Beta	Ángulo de rayo reflejado con respecto al eje X positivo
Beta3	Rugosidad del espejo
Beta4	Ángulo modificado del rayo reflejado con desviación positiva cuando el espejo no es perfecto
Beta5	Ángulo modificado del rayo reflejado con desviación negativa.
θ_i	Ángulo de apertura máxima.
θ_{max} diseño	Ángulo máximo del parámetro T de diseño
θ_t	Ángulo máximo del parámetro T para el C.P.C. truncado.

```

0 *****
0 *****
1 *****
0 *****
0 PRINT
0 PRINT "**** DISENO DE UN CONCENTRADOR PARABOLICO COMPUESTO ****"
0 PRINT
0 PRINT
0 PRINT " PARA EL CASO DE CPC CON PERFIL COMPLETO Y TRUNCADO"
0 PRINT
0 PRINT "PARITIENDO DE UNA CONCENTRACION DESEADA PARA EL CPC COMPLETO"
10 PRINT "Y DE EL RADIO DEL ABSORBEDOR"
20 PRINT
30 DIM X(500),Y(500),Xe(360),Ye(360),Y9(360),Ye1(360),Xe1(360)
40 PRINT "CONCENTRACION DE DISENO DEL CPC COMPLETO"
50 INPUT Concentracion
60 PRINT "CONCENTRACION =";Concentracion
70 PRINT
80 *****
90 !
00 ! CALCULO DEL ANGULO DE INCIDENCIA APARTIR DE UNA CONCENTRACION
00 ! PARA EL CPC COMPLETO
10 *****
20 O1=ASN(1/Concentracion)
30 PRINT "ANGULO DE INCIDENCIA DEL CPC COMPLETO =";O1*180/PI;"GRADOS"
40 PRINT
50 PRINT "RADIO DEL ABSORBEDOR"
60 INPUT Radio
70 PRINT "RADIO";Radio;" cm"
80 PRINT
90 *****
00 !
00 ! CALCULO DE LA LONGITUD DE APERTURA
00 ! DEL C.P.C. COMPLETO Y TRUNCADO
20 *****
30 Lt=PI*Radio*2/SIN(O1)
40 PRINT
50 PRINT "DESEAS HACER EL ANALISIS CON EL C.P.C. TRUNCADO (SI=1, NO=0) "
60 INPUT Op
70 IF Op=1 THEN GOTO 400
80 IF Op=0 THEN GOTO 480
90 PRINT
00 PRINT " QUE PORCENTAJE DECEAS TRUNCAR DE LA LONGITUD DE APERTURA (0 A 50
"
0 INPUT A
0 A=(100-A)/100
0 FOR I=.5*O1 TO 2.0*O1 STEP .009
0 Li=2*PI*Radio/SIN(I)
0 L=Li/Lt
0 IF L<A THEN GOTO 490
0 NEXT I
0 PRINT
0 PRINT "LONGITUD DE APERURA DEL C.P.C. COMPLETO = ";Lt;" cm"
0 IF Op=0 THEN GOTO 660
0 At=I
0 PRINT
0 PRINT "LONGITUD DE APERTURA AL";A*100;"% DEL CPC COMPLETO ";Li;" cm"
0 PRINT
0 PRINT

```

```

50 PRINT
60 PRINT "ANGULO DE INCIDENCIA MAXIMA PARA EL CPC TRUNCADO";At*180/PI;"GRADOS"
70 Concentracion=1/SIN(At)
80 PRINT
90 PRINT "CONCENTRACION DEL C.P.C. TRUNCADO = ";Concentracion
100 !*****
101 !
102 ! ANALISIS DE LOS ANGULOS DEL PARAMETRO T DONDE SE
103 ! INTERSECTA LA INVOLUTA Y LA PARABOLA ASI COMO EL
104 ! ANGULO FINAL DEL PERFIL PARA EL CASO DE C.P.C.
105 ! COMPLETO Y TRUNCADO
106 !*****
107 Ic=01+PI/2
108 O=3*PI/2-01
109 Omax=0
110 IF Op=0 THEN GOTO 710
111 Ot=3*PI/2-At
112 PRINT
113 PRINT "ANGULO DEL PARAMETRO T DONDE SE INTERSECTAN LAS CURVAS";Ic*180/PI;"
114 RADOS"
115 PRINT
116 PRINT "ANGULO FINAL DEL PARAMETRO T DEL C.P.C. COMPLETO";O*180/PI;"GRADOS"
117
118 IF Op=0 THEN GOTO 860
119 PRINT
120 PRINT
121 PRINT "ANGULO FINAL DEL PARAMETRO T DEL C.P.C. TRUNCADO";Ot*180/PI;"GRADO
122
123 !*****
124 ! NOTA EL ANGULO DE INTERSECCION DE LAS CURVAS PARA EL CASO
125 ! DEL CPC COMPLETO Y TRUNCADO SON LOS MISMOS SOLO CAMBIA
126 ! EL ANGULO DONDE FINALIZA EL PERFIL
127 !*****
128 ! INICIA CALCULO DEL PERFIL DEL CPC
129 !*****
130 GINIT
131 GRAPHICS ON
132 ! PLOTTER IS 705,"HFGL"
133 ! PEN 0
134 LORG 6
135 X_gdu_max=100*MAX(1,RATIO)
136 Y_gdu_max=100*MAX(1,1/RATIO)
137 FOR I=-.3 TO .3 STEP .1
138 MOVE X_gdu_max/2+I,Y_gdu_max
139 IF Op=1 THEN GOTO 980
140 LABEL "DISENO DEL C.P.C. COMPLETO"
141 GOTO 990
142 LABEL "DISENO DEL C.P.C. TRUNCADO"
143 NEXT I
144 LORG 4
145 LDIR 0
146 MOVE X_gdu_max/2,.07*Y_gdu_max
147 LABEL " ANALISIS OPTICO POR TRAZADO DE RAYOS"
148 VIEWPORT .1*X_gdu_max,.98*X_gdu_max,.15*Y_gdu_max,.9*Y_gdu_max
149 WINDOW -30,30,-10,30

```

```

060  AXES 5,5,0,0,5,5,3
070  MOVE 0,0
080  LORG 6
090  CSIZE 3.0,.6
100  FOR I=-30 TO 31 STEP 5
110  MOVE I,-.7
120  LABEL USING "#,K";I
130  NEXT I
140  LORG 8
150  CSIZE 2.5
160  FOR I=-10 TO 31 STEP 5
170  MOVE -.7,I
180  LABEL USING "#,K";I
190  NEXT I
200  !PEN 2
210  IF Op=1 THEN Omax=Ot
220  FOR Z=.0010 TO Omax STEP .009
230  IF Z>=Ic THEN GOTO 1260
240  T=Radio*Z
250  GOTO 1270
260  T=(Radio*(Z+01+PI/2-COS(Z-01)))/(1+SIN(Z-01))
270  X(Z)=Radio*SIN(Z)-T*SIN(Z+PI/2)
280  Y(Z)=-Radio*COS(Z)+T*COS(Z+PI/2)
290  MOVE X(Z),Y(Z)
300  DRAW X(Z),Y(Z)
310  MOVE -X(Z),Y(Z)
320  DRAW -X(Z),Y(Z)
330  IF Z=Z1 THEN GOTO 1750
340  IF Op=0 THEN GOTO 1370
350  IF Z=Ot THEN GOTO 1410
360  IF Z=0 THEN GOTO 1520
370  NEXT Z
380  IF Op=0 THEN GOTO 1520
390  Z=Ot
400  GOTO 1230
410  PRINT
420  PRINT "COORDENADAS DEL ULTIMO PUNTO DEL PERFIL TRUNCADO"
430  Xt=X(Ot)
440  Yt=Y(Ot)
450  PRINT Xt,Yt
460  PRINT
470  !*****
480  ! COORDENADAS DEL ULTIMO PUNTO PARA EL CPC COMPLETO
490  !*****
500  Z=0
510  GOTO 1230
520  PRINT "COORDENADAS DEL ULTIMO PUNTO DEL PERFIL COMPLETO"
530  Xc=X(0)
540  Yc=Y(0)
550  PRINT Xc,Yc
560  PRINT
570  !*****
580  !
590  ! CALCULO DE LA ALTURA DEL CPC COMPLETO Y TRUNCADO
600  !*****
FOR Z1=.01*0 TO .5*0 STEP .009

```



```

610 IF Z1=Ic THEN GOTO 1650
620 T=Z1*Radio
630 Dt=Radio
640 GOTO 1670
650 Dt=Radio-Radio*(COS(Z1-O1)*(Z1+O1+PI/2-COS(Z1-O1)))/((1+SIN(Z1-O1))^2)
660 T=(Radio*(Z1+O1+PI/2-COS(Z1-O1)))/(1+SIN(Z1-O1))
670 Dy=Radio*SIN(Z1)+Dt*COS(Z1+PI/2)-T*SIN(Z1+PI/2)
680 Dx=Radio*COS(Z1)-Dt*SIN(Z1+PI/2)-T*COS(Z1+PI/2)
690 Ac=ATN(Dy/Dx)
700 IF ABS(Ac)<=.01 THEN GOTO 1720
710 NEXT Z1
720 Z=Z1
730 GOTO 1230
740 PRINT
750 PRINT "COORDENADAS DONDE SE TIENE UN MINIMO EM LA CONCAVIDAD DEL CPC"
760 Xz=X(Z1)
770 Yz=Y(Z1)
780 PRINT "X(Z1),Y(Z1)";Xz,Yz
790 MOVE X(Z1),Y(Z1)
800 LABEL "CERO"
810 Alturacom=ABS(Yz)+Yc
820 Alturatru=ABS(Yz)+Yt
830 PRINT
840 PRINT " ALTURA DEL CPC COMPLETO";Alturacom;"cm"
850 PRINT
860 PRINT "ALTURA DEL CPC TRUNCADO";Alturatru;"cm"
870 Relacion=Alturatru/Alturacom*100
880 PRINT
890 PRINT "RELACION DE ALTURA DEL CPC TRUNCADO/COMPLETO EN % ";Relacion
900 PRINT
910 !*****
920 ! FINALIZA CALCULO DEL PERFIL CUANDO ES COMPLETO Y TRUNCADO
930 !*****
940 ! DIBUJA PERIMETRO DEL ABSORBEDOR
950 !*****
960 FOR F=0 TO 2*PI STEP .1
970 Xe(F)=Radio*COS(F)
980 Ye(F)=Radio*SIN(F)
990 MOVE 0,0
1000 PLOT Xe(F),Ye(F)
1010 NEXT F
1020 !*****
1030 ! FINALIZA CALCULO DEL PERIMETRO DEL ABSORBEDOR
1040 !*****
1050 !*****
1060 ! GENERACION DE UN RAYO
1070 !*****
1080 PRINT
1090 PRINT " DAME EL VALOR FINAL DE LA SEGUNDA CURVA ESTA ENTRE 0 A ";0
1100 INPUT W
1110 PRINT
1120 PRINT "DAME EL ANGULO DE INCIDENCIA DEL RAYO ENTRE 0 Y";O1*180/PI
1130 INPUT M1
1140 PRINT
1150 PRINT "TRAZA DE RAYOS PARALELOS CON ANGULO CON RESPECTO AL EJE OPTICO";M1

```

```

160 M1=30
170 PEN 5
180 FOR H=0 TO W STEP .005
190 IF H>=Ic THEN GOTO 2220
200 T=Radio*H
210 GOTO 2230
220 T=(Radio*(H+01+PI/2-COS(H-01)))/(1+SIN(H-01))
230 X3(H)=Radio*SIN(H)-T*SIN(H+PI/2)
240 Y3(H)=-Radio*COS(H)+T*COS(H+PI/2)
250 NEXT H
260 PRINT
270 PRINT "COORDENADAS DEL PUNTO DE INTERSECCION=";X3(W),Y3(W)
280 ! ***** CALCULA PENDIENTE DE RAYO INCIDENTE *****
290 M1=M1+90
300 M=TAN(M1*PI/180)
310 Y5=Y(0)
320 X6=X3(W)
330 Y6=Y3(W)
340 X5=X6-(Y6-Y5)/M
350 PRINT
360 PRINT "COORDENADAS DONDE SE INICIA EL RAYO";X5,Y5
370 LINE TYPE 1
380 MOVE X6,Y6
390 DRAW X5,Y5
400 MOVE X5,Y5
410 !LABEL "RAYO"
420 !*****
430 !**** EVALUA LA DERIVADA EN EL PUNTO DE INTERSECCION *****
440 !*****
450 IF W>=Ic THEN GOTO 2490
460 Dt=Radio
470 T=W*Radio
480 GOTO 2510
490 Dt=Radio-Radio*(COS(W-01)*(W+01+PI/2-COS(W-01)))/((1+SIN(W-01))^2)
500 T=(Radio*(W+01+PI/2-COS(W-01)))/(1+SIN(W-01))
510 Dy=Radio*SIN(W)+Dt*COS(W+PI/2)-T*SIN(W+PI/2)
520 Dx=Radio*COS(W)-Dt*SIN(W+PI/2)-T*COS(W+PI/2)
530 PRINT "DX,DY";Dx,Dy
540 Adf2=ATN(Dy/Dx)
550 PRINT
560 PRINT "ANGULO DEL PUNTO TANGENTE A LA CURVA CON RESPECTO AL EJE X + ";Adf
570 -180/PI
580 Y7=0
590 Adf=TAN(Adf2)
600 X7=-Y6/Adf+X6
610 !LINE TYPE 4
620 !MOVE X6,Y6
630 !DRAW X7,Y7
640 !MOVE X7,Y7
650 !LINE TYPE 1
660 !LABEL "TANGEN"
670 PRINT
680 PRINT "COORDENADAS DONDE FINALIZA LA TANGENTE";X7,Y7
690 !A1=ATN((Y6-Y7)/(X6-X7))
700 PRINT
710 PRINT "ANGULO ABTENIDO CON COORDENADAS";A1*180/PI

```

```

710 !*****
720 !***** CALCULOS PARA TRAZAR NORMAL A LA RECTA TANGENTE AL PUNTO*****
730 !*****
740 Nt=-1/TAN(Adf2)
750 PRINT
760 PRINT "PENDIENTE DE LA NORMAL A LA TANGENTE CON RESPECTO AL EJE X + ";Nt*
80/PI
770 XB=0
780 YB=TAN(Nt)*(XB-X6)+Y6
790 PRINT
800 PRINT "XB,YB";XB,YB
810 !Nt2=ATN((YB-Y6)/(XB-X6))
820 PRINT
830 PRINT "ANGULO DE LA NORMAL OBTENIDO POR COORDENADAS CON RESPECTO AL EJE X
";Nt2*180/PI
840 PEN 3
850 !LINE TYPE 5
860 !MOVE X6,Y6
870 !DRAW XB,YB
880 !MOVE XB,YB
890 !LINE TYPE 1
900 !LABEL "NORMAL"
910 !*****
920 !***** CALCULO DEL RAYO REFLEJADO*****
930 !*****
940 Alfa=(M-Nt)/(1+M*Nt)
950 Alfa1=ATN(Alfa)
960 M1=ATN(M)
970 Alfa1=ABS(Alfa1)
980 Gama1=PI-2*Alfa1
990 Gama=TAN(Gama1)
000 Beta1=M1+2*Alfa1-PI
010 Beta=TAN(Beta1)
020 PRINT
030 PRINT "ANGULO ENTRE EL RAYO Y LA NORMAL ALFA CON RESPECTO A LA FIG.5=";A
fa1*180/PI
040 PRINT
050 PRINT "ANGULO ENTRE LA NORMAL EL RAYO REFLEJADO Y EL INCIDENTE GAMA=";Ga
1*180/PI
060 PRINT
070 PRINT "ANGULO DEL RAYO INCIDENTE CON RESPECTO AL EJE X + M=";M1*180/PI+18
080 PRINT
090 PRINT "ANGULO DEL RAYO REFLEJADO CON RESPECTO AL EJE + BETA=";Beta1*180/P
180
00 PRINT
10 PRINT "FACTOR DE ERROR DEL ESPEJO DE 1 A 5 "
20 Beta3=5 ! ES VARIABLE DE 0 A 5 LLEVA UN INPUT
30 Beta3=ATN(Beta3*PI/180)
40 PRINT "FACTOR DE ERROR EN BETA3";Beta3*180/PI;"GRADOS"
50 PRINT
60 PRINT "DESEAS VER EL EFECTO DE RUGOSIDAD DEL ESPEJO"
70 PRINT " IMPRIME 0, 1, 2 SEGUN EL CASO"
80 PRINT
90 PRINT "CALCULO CON ESPEJO PERFECTO SI=0"
00 PRINT "CALCULO CON DESVIACION POSITIVA SI=1"

```

```

210 PRINT "CALCULO CON DESVIACION NEGATIVA" SI=2"
220 PRINT
230 Si=1 ! ES VARIABLE TIENE UN INFUT
240 IF Si=0 THEN GOTO 3330
250 IF Si=1 THEN Beta=Beta+Beta3
260 Beta4=ATN(Beta)
270 PRINT
280 PRINT "ANGULO DE RAYO REFLEJADO CON DESVIACION POSITIVA";Beta4*180/PI;"GR
DOS"
290 IF Si=2 THEN Beta=Beta-Beta3
300 Beta5=ATN(Beta)
310 PRINT
320 PRINT "ANGULO DE RAYO REFLEJADO CON DESVIACION NEGATIVA";Beta5*180/PI;"GR
DOS"
330 FOR I=10 TO -6 STEP -.01
340 X9=I
350 Y9(6+I)=Beta*(X9-X6)+Y6
360 Radio2=SQR(X9^2+(Y9(6+I))^2)
370 IF ABS(Radio2-Radio)<=.01 THEN GOTO 3420
380 Xpr=(-Y6)/Beta+X6
390 !IF ABS(Xpr-X9)<=.1 THEN GOTO 3380
400 NEXT I
410 PRINT
420 PRINT "X9,Y9";X9,Y9(6+I)
430 Rpr=SQR(X9^2+(Y9(6+I))^2)
440 PRINT
450 PRINT " RADIO DE ALCANSE DEL RAYO REFLEJADO Rpr";Rpr;"cm"
460 IF Si=0 THEN PEN 3
470 IF Si=1 THEN PEN 6
480 IF Si=2 THEN PEN 6
490 MOVE X6,Y6
500 DRAW X9,Y9(6+I)
510 MOVE X9,Y9(6+I)
520 !LINE TYPE 1
530 !LABEL "REFLEJADO"
540 Alfa5=ATN((Y9(6+I)-Y6)/(X9-X6))
550 PRINT "CALCULO DEL ANGULO REFLEJADO POR COORDENADAS";Alfa5*180/PI
560 IF W>3.00 THEN GOTO 3590
570 W=W+.1
580 GOTO 3640
590 IF W>3.8 THEN GOTO 3610
600 W=W+.08
610 GOTO 3640
620 W=W+.06
630 IF Op=1 THEN GOTO 3660
640 IF W>=0 THEN GOTO 3680
650 GOTO 3660
660 IF W>=0t THEN GOTO 3680
670 GOTO 2160
680 PRINT "DESEA TRAZAR OTRO RAYO SI=1 NO=0"
690 INPUT T
700 IF T=1 THEN GOTO 2090
710 PLOTTER IS 705,"HPGL"
720 OUTPUT 705
730 PRINT "TERMINE"
740 END

```

ANEXO II

APLICACION DE SUPERFICIE SELECTIVAS.

Para comprender el funcionamiento de la superficie selectiva se dará una breve explicación de como se distribuye la energía en el espectro solar. La radiación solar no es más que la radiación electromagnética que se genera en el sol y que es interceptada por la tierra. La distribución de la energía en el espectro solar, es muy importante para entender la interacción de la radiación solar con la atmósfera y la superficie terrestre. Dicha distribución guarda semejanza con la emisión de un cuerpo negro a la temperatura de 6000 grados Kelvin. Las diferencias son ocasionadas por la absorción las moléculas que constituyen la atmósfera. Obsérvese la fig.A2.1 en donde en el eje de las ordenadas se representa la densidad de radiación (W/m^2) y en el eje de las abscisas esta la longitud de onda en (μm).

Al incidir la radiación solar en el cuerpo del colector, provoca cambios en el estado de energía de sus electrones tales como movimientos de translación, rotación y vibración. Las longitudes de onda importantes en energía solar, según lo muestra la gráfica A2.1 están en el intervalo de 0.2 a 2.5 μm .

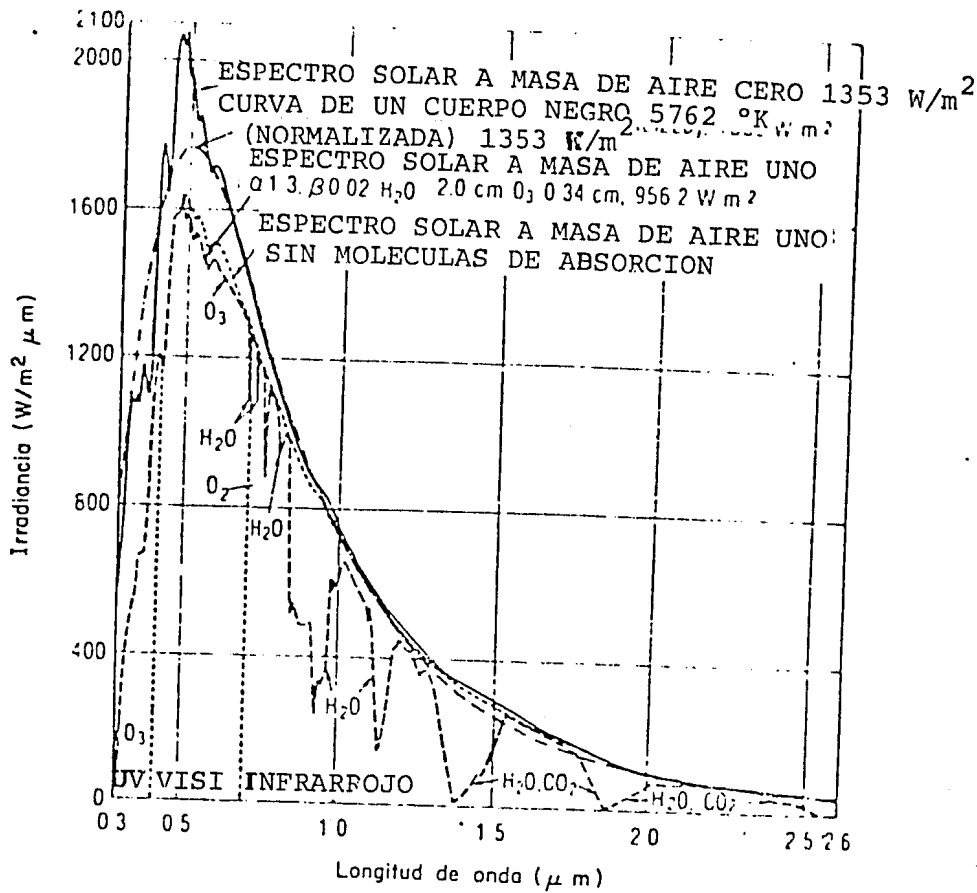


FIGURA A.1 ESPECTRO SOLAR

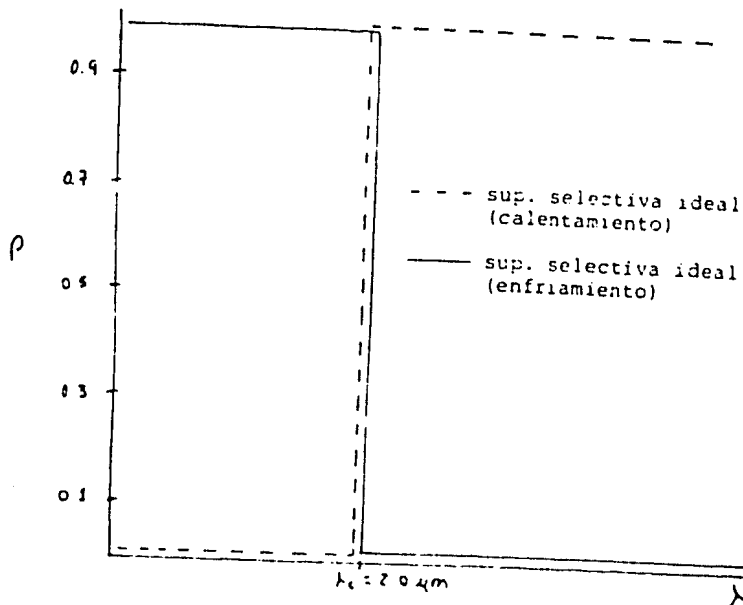


FIGURA A.2 CARACTERÍSTICAS DE UNA SUPERFICIE IDEAL

Haciendo un balance de energía respecto al receptor, la energía total que incide es:

$$a + r + \tau = 1 \quad \dots A2.1$$

en donde

- a fracción absorbida
- r fracción reflejada
- τ fracción transmitida

Kirchoff [57] demostró, que para un cuerpo negro en equilibrio termodinámico con sus alrededores la emisividad total es igual a la absorptividad para una longitud de onda dada. Esto es si se coloca un cuerpo dentro de una esfera a la que previamente se ha hecho vacío y se espera un tiempo suficiente para que ambos cuerpos se encuentren en equilibrio se tendrá:

$$a = e \quad \dots A2.2$$

donde a es la absorptividad y e es la emisividad. Si no se cumple esta condición se estaría transfiriendo calor entre los dos cuerpos a la misma temperatura, lo cual contradice a la segunda ley de la termodinámica.

En una superficie opaca la transmitancia es nula esto es $\tau = 0$; con lo que la ec. A2.1 se reduce a:

$$a + r = 1 \quad \dots A2.3$$

Es importante notar que las ecuaciones A2.1 a A2.3 son función de la longitud de onda.

Las características deseadas en una superficie selectiva, se encuentran relacionadas con su aplicación. Así por ejemplo para el calentamiento de un fluido los requerimientos son los siguientes:

- a.- Alta absorptividad en el espectro del visible. Esto es, radiación electromagnética con longitud de onda entre 0.3 a 2.0 μm .
- b.- Baja emisividad en la región del infrarrojo ($2.0 \leq \lambda \leq 25 \mu\text{m}$)
- c.- Estabilidad térmica a las temperaturas de operación
- d.- Reproducibilidad en el método de obtención
- e.- Estabilidad a la corrosión
- f.- Costo de producción bajo.

Una superficie ideal, es aquella que presenta un comportamiento similar al que se grafica en la fig.A2.2 En esta gráfica se observa que la reflectividad tiende a cero a valores menores que 2.0 μm y presenta una discontinuidad en este punto para alcanzar el valor de 1.0 para longitudes mayores que 2.0 μm . Para lograr esto se tienen varias técnicas dependiendo del sustrato donde se deposite la superficie selectiva. Si el sustrato es metálico, entonces se puede hacer un depósito con técnicas electroquímicas, las cuales en términos generales, consisten en tener una solución que contenga a los elementos a depositar y hacer pasar una corriente eléctrica para que por descomposición

electroquímico se depositen en el sustrato los elementos deseados. En esta técnica las variables a controlar son:

- a.- Concentración de reactivos
- b.- Distancia de separación entre ánodo y cátodo
- c.- Temperatura del depósito
- d.- Densidad de corriente
- e.- Tiempo de electrólisis
- f.- Relación de tamaño ánodo / cátodo

El depósito de la superficie selectiva en el absorbedor del C.P.C. fue por la técnica de electrodepósito ya que el absorbedor del concentrador es cobre y tiene las características adecuadas para este tipo de depósito. Las condiciones del depósito se fijaron de acuerdo a las recomendaciones de Fernández [52].

La cuba en la cual se llevó a cabo el depósito de la superficie selectiva está hecha de dos tubos, uno de PVC de diámetro 12,7 cm y el otro de Plomo de diámetros 11,0 cm. El tubo de plomo se coloca en el interior del tubo de PVC sellado en un extremo con una placa de PVC de espesor 0,5 cm. Esto permite contar con una cuba de geometría cilíndrica con rigidez mecánica capaz de contener la solución de reactivos y de conducir la electricidad a través de su pared interior. El tubo de plomo constituye el ánodo mientras que el tubo de cobre constituye el cátodo al cual se le deposita la superficie selectiva. Este último se coloca concentricamente en la cuba con una cruzeta de acrílico, perforada en el centro con el

diámetro del tubo de cobre garantizando así que éste se mantenga en el centro, tal como lo muestra la fig. A2.3

Las condiciones del baño para el depósito electroquímico son las siguientes:

a.- Concentración de componentes del baño.

Trióxido de Cromo (Cr_2O_3) 250 g/l

Carbonato de Bario (CH_3COO)Ba 1 g/l

Ácido Acético CH_3COOH 162 ml/l

b.- Distancia de separación ánodo cátodo.

Se separó el doble del diámetro del tubo de cobre entre ánodo y cátodo esto representó 5.0 cm.

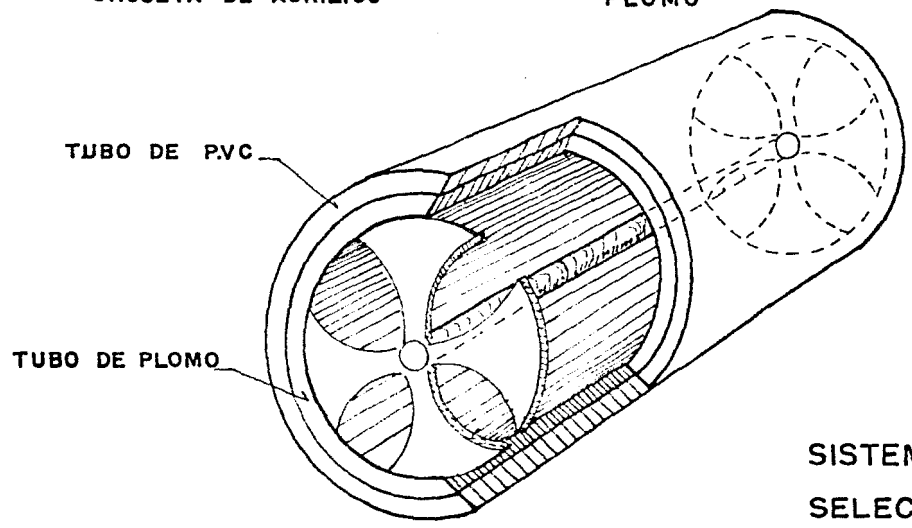
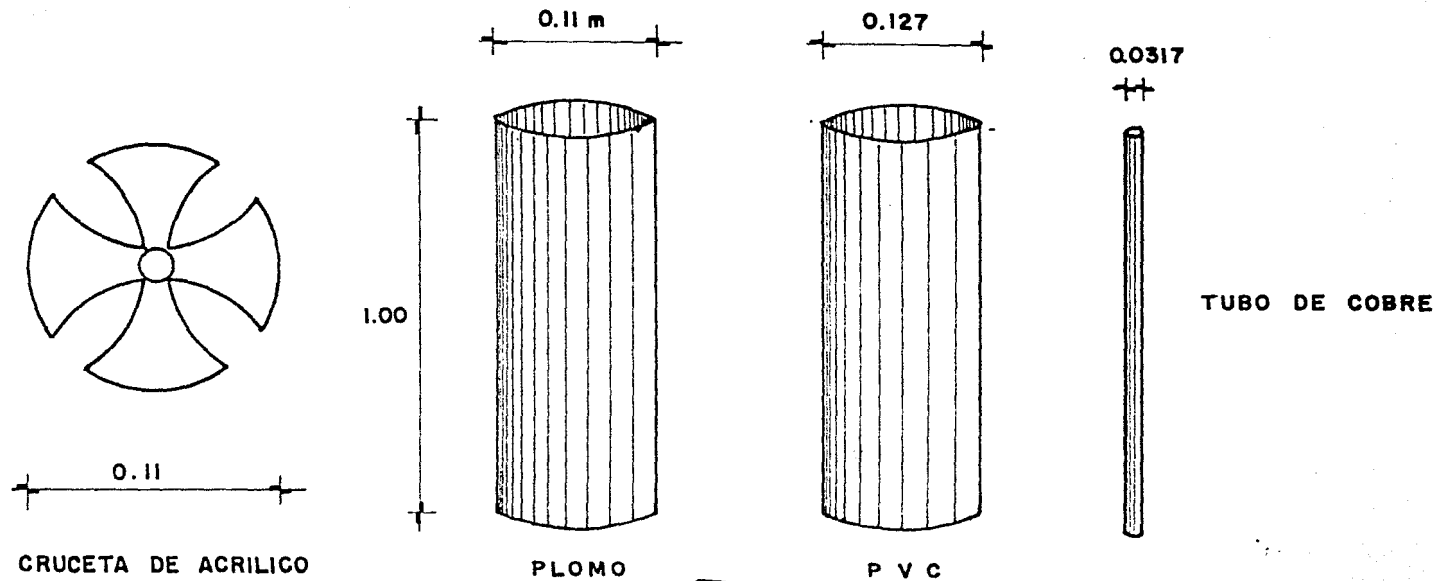
c.- Temperatura de depósito. Esta se mantuvo en el rango de 25-30 grados centígrados.

d.- La densidad de corriente fué de 9.0 A / dm^2

e.- Tiempo de electrólisis 10 min.

f. Relación de tamaños ánodo cátodo igual a dos

El procedimiento para epositar la superficie selectiva en el Absorbedor del C.F.C. es el siguiente:



SISTEMA PARA DEPOSITAR SUPERFICIE SELECTIVA DE CROMO NEGRO

- a.- Pulido del tubo de cobre con carburo de calcio de diferentes grados (250, 400, 600, 800).
- b.- Electropulido con ácido fosfórico 14 M a una densidad de corriente de 163 mA/ cm² durante un tiempo de 3 a 4 min. colocando al tubo de cobre como ánodo.
- c.- Lavado con agua.
- d.- Limpiado con acetona
- e.- electrodeposición con el baño de Cromo Negro.
- f.- enjuague con agua.
- g.- secado de tubo con aire caliente.

ANEXO III

Este programa se generó con el objeto de que la microcomputadora Hewlett Packer serie 9000, modelo 216 adquiriera la información que envían los instrumentos instalados en el C.F.C. los cuales registraban las variables que las normas recomiendan, controlando el muestreo en tiempo real. Este mismo programa contempla la opción de graficar simultáneamente la temperatura de cada uno de los termopares contra el tiempo. A continuación se da el significado de las variables que intervienen en este programa.

Variable	Significado
A\$	Nombre del archivo
C	Canal que debe leer
N	Registro de bits ocupados por el archivo
N1	Número de canales
N2	Número de muestras
Op	Opción para analizar la información en forma gráfica o de presentarla en tablas
Piran	Variable asignada al muestreo del piranómetro
Temperatura	Temperatura del termopar sentido
Tiempo	Lapso de tiempo real al que debe tomar una muestra de otra.

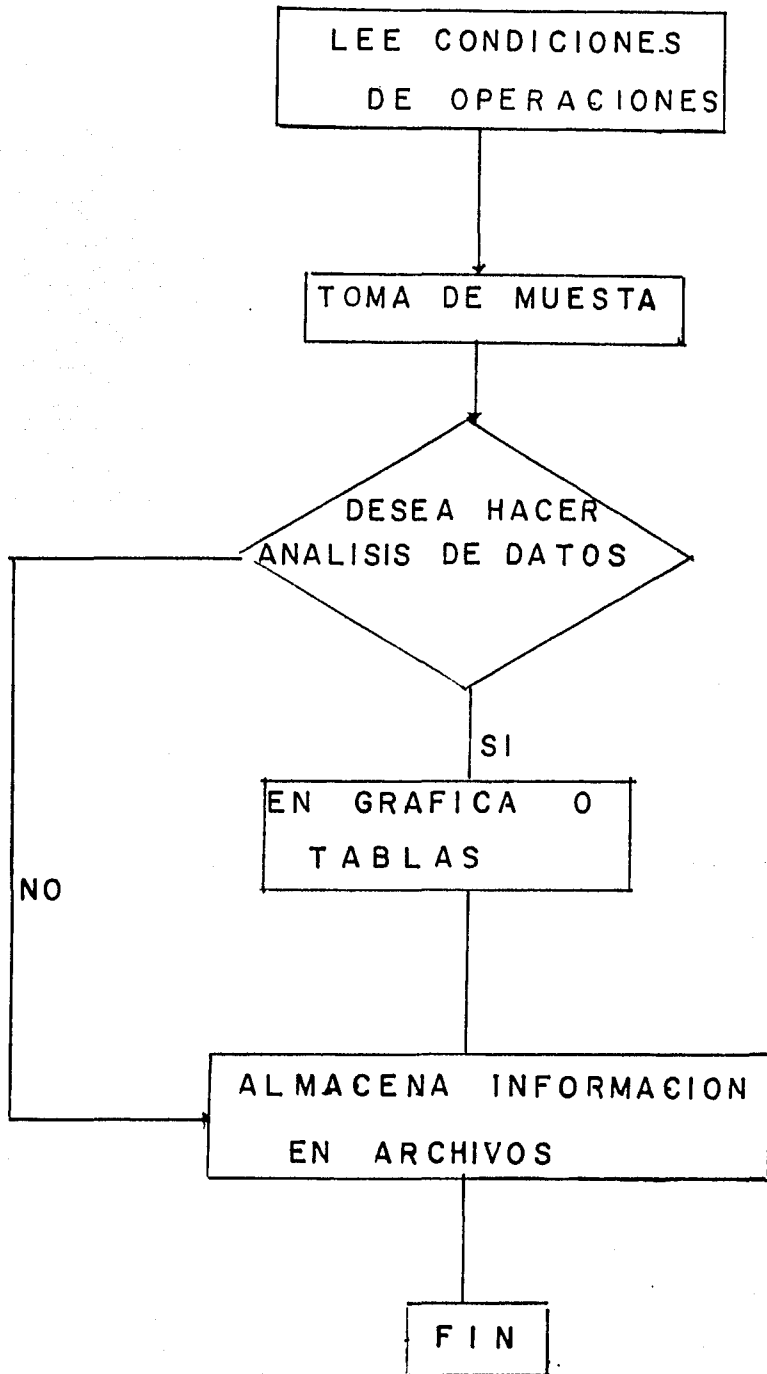


FIGURA ALGORITMO PARA TOMA DE DATOS

! A N E X O I I I

PRINT

!*****

! PROGRAMA PARA TOMAR LECTURAS DE TEMPERATURAS Y RADIACION SOLAR

!*****

MASS STORAGE IS " :HP9133,702,0"

DIM T(38),C(38),A(4),Te(38),Temp(38,100),Temperature(1000)

READ A(1),A(2),A(3),A(4)

Lntyl=0

10 CLEAR 722

20 CLEAR 709

30 REMOTE 722

40 SEND 7;CMD ")" DATA "00E"

50 PRINT " PROGRAMA PARA LEER N CANALES"

60 PRINT "-----"

70 PRINT

80 N1=7

90 REDIM T(N1),C(N1)

100 PRINT "NUMERO TOTAL DE CANALES";N1

110 PRINT

120 FOR I=0 TO N1

130 PRINT "#CANAL.....";C(I)

140 C(1)=1

150 C(2)=2

160 C(3)=3

170 C(4)=4

180 C(5)=5

190 C(6)=25

200 C(7)=6

210 NEXT I

220 PRINT

230 PRINT

240 ! DISP "INTERVALO DE TIEMPO ENTRE LECTURAS (seg)";

250 T1=60

260 PRINT "INTERVALO DE TIEMPO ENTRE LECTURAS (SEG)";T1

270 ! DISP "NUMERO DE MUESTRAS";

280 N2=60

290 PRINT "NUMERO DE MUESTRAS.....";N2

300 DISP "NOMBRE DEL ARCHIVO";

310 INPUT A#

320 PRINT "NOMBRE DEL ARCHIVO.....";A#

330 T2=T1*(N2-1)

340 PRINT

350 PRINT

360 PRINT " RESUMEN"

370 PRINT "-----"

380 PRINT "NUMERO DE CANALES.....";N1

390 PRINT "ORDEN:"

400 FOR I=1 TO N1

410 PRINT C(I);

420 NEXT I

430 PRINT

440 PRINT "NUMERO DE MUESTRAS.....";N2

450 PRINT "TIEMPOS:"

460 PRINT " INTERVALO.....";T1

```

60 PRINT "          TOTAL.....";T2
70 PRINT "NOMBRE DEL ARCHIVO          ";A#
80 PRINT "          # REGISTROS...";N1*N2
90 PRINT "          LONGITUD:"
00 PRINT "          REGISTRO  24"
10 N=24*(N1*N2)
20 PRINT "          TOTAL          ";N
30 PRINT
40 PRINT
50 PRINT
60 PRINT
70 PRINT
80 PRINT
90 PRINT
00 PRINT "Si Ud desea la informacion en forma grafica oprima 1"
10 PRINT "Si Ud. desea la informacion en tablas oprima 0      "
20 PRINT "En seguida oprima Ud. CONTINUE"
30 INPUT Op
40 FOR I=1 TO 20
50 PRINT
60 NEXT I
70 IF Op=1 THEN GOTO 830
80 PRINT "          LECTURAS"
90 PRINT "          -----"
00 PRINT " N          FECHA          HORA          CANAL          LECTURA"
10 IMAGE DDD,2X,11A,2X,8A
20 IMAGE 33X,DD,8X,DD.D
30 N3=0
40 Tiempo=TIMEDATE
50 IF Op=1 THEN GOSUB 2030
60 ON CYCLE T1 GOSUB 1290
70 T2=T2+T1-.1
80 GOSUB 1290
90 !*****
00 !     LO DIRECCIONA PARA ADQUIRIR LA INFORMACION
10 !*****
20 IF Op=0 THEN GOTO 930
30 IF N3=N2 THEN 960
40 DISP TIME$(TIMEDATE)
50 GOTO 930
60 OFF CYCLE
70 PRINT "TERMINE"
80 !
90 !*****
00 !*  CAPITULO 3          *
10 !*  INSTRUCCIONES PARA GENERAR ARCHIVOS          *
20 !*          *
30 !*****
40 PRINT A#
50 CREATE BDAT A#,N1*N2,24
60 ASSIGN @Path TO A#
70 FOR J=1 TO N2
80 FOR I=1 TO N1
90 Ind=I+(J-1)*N1
00 OUTPUT @Path,Ind;Temp(I,J),END

```



```

110 NEXT I
120 NEXT J
130 ASSIGN @Path TO *
140 ASSIGN @Path TO A#
150 FOR Ii=N1*N2 TO 1 STEP -1
160 ENTER @Path,Ii;Temperature(Ii)
170 NEXT Ii
180 GOTO 2430
190 !
200 !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
210 !!!!!!!!!!!!! FIN DEL PROGRAMA !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
220 !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
230 !
240 !*****
250 ! CAPITULO 1
260 !* ADQUISICION DE DATOS *
270 !*****
280 MASS STORAGE IS ":HP9133,702,0"
290 N3=N3+1
300 IF Op=1 THEN GOTO 1320
310 PRINT USING 810;N3;DATE$(TIMEDATE);TIME$(TIMEDATE)
320 FOR I=1 TO N1
330 OUTPUT 722;"F1R7T5Z1FLO" !OJO OUTPUT
340 CLEAR 709
350 B#=VAL$(C(I))&"E"
360 IF C(I)<10 THEN B#="0"&B#
370 SEND 7;CMD ")" DATA B# !OJO SEND
380 IF C(I)<>0 THEN 1400
390 OUTPUT 722;"F4R7" !OJO OUTPUT
400 TRIGGER 722
410 ENTER 722;B#
420 T(I)=VAL(B#)
430 IF C(I)=0 THEN V=T(I)
440 IF C(I)=6 THEN Piran=T(I)*1000*5.376-50
450 NEXT I
460 GOSUB 1560 !!!!!!!!!!!!! AL CAPITULO 2
470 RETURN
480 !*****
490 !* FIN DEL CAPITULO 1 *
500 !*****
510 !
520 !*****
530 !* CAPITULO 2 *
540 !* CONVERSION A GRADOS CENTIGRADOS *
550 !*****
560 FOR I=1 TO N1
570 Te(I)=0
580 IF C(I)<>6 THEN 1610
590 Temp(I,N3)=Piran
600 GOTO 1910
610 FOR J=1 TO 4
620 Te(I)=A(J)*(T(I)*1000000)^J+Te(I)
630 NEXT J
640 Temp(I,N3)=Te(I)
650 IF Op=1 THEN GOTO 1700

```

```

660 PRINT USING 820;C(I);Temp(I,N3)
670 GOTO 1920
680 IF N3=1 THEN MOVE 0,20
690 PRINT "TEMP(I,1)";Temp(I,1)
700 Tiempo=N3*T1
710 Tiempoa=(N3-1)*T1
720 MOVE Tiempoa,Temp(I,N3-1)
730 ON I GOTO 1740,1760,1780,1800,1820,1840,1860
740 LINE TYPE 1
750 GOTO 1870
760 LINE TYPE 3
770 GOTO 1870
780 LINE TYPE 4
790 GOTO 1870
800 LINE TYPE 5
810 GOTO 1870
820 LINE TYPE 6
830 GOTO 1870
840 LINE TYPE 7
850 GOTO 1870
860 LINE TYPE 8
870 DRAW Tiempo,Temp(I,N3)
880 PRINT USING 810;N3;DATE$(TIMEDATE);TIME$(TIMEDATE)
890 PRINT USING 820;C(I);Temp(I,N3)
900 GOTO 1920
910 PRINT USING "26X, ""PIRANOMETRO"",5X,DDD.DDE,3X, ""W/m^2""";Piran
920 NEXT I
930 RETURN
940 !*****
950 !*      FIN CAPITULO 2      *
960 !*****
970 !
980 !*****
990 !*      ANEXO 1      *
000 !*      GRAFICACION      *
010 !*****
020 !
030 GINIT
040 PLOTTER IS 3,"INTERNAL"
050 GRAPHICS ON
060 LORG 6
070 X_gdu_max=100*MAX(1,RATIO)
080 Y_gdu_max=100*MAX(1,1/RATIO)
090 FOR I=-.3 TO .3 STEP .1
000 MOVE X_gdu_max/2+I,Y_gdu_max
010 LABEL "TEMPERATURA DEL FLUIDO"
020 NEXT I
030 DEG
040 LDIR 90
050 CSIZE 3.5
060 MOVE 0,Y_gdu_max/2
070 LABEL "Temperatura (C)"
080 LORG 4
090 LDIR 0
000 MOVE X_gdu_max/2,.07*Y_gdu_max

```

```
210 LABEL "Tiempo(minutos )"
220 VIEWPORT .1*X_gdu_max,.98*X_gdu_max,.15*Y_gdu_max,.9*Y_gdu_max
230 WINDOW 0,3600,20,35
240 AXES 60,1.0,0,20,5,5,3
250 AXES 60,1.0,3600,35,5,5,3
260 LINE TYPE 3
270 GRID 300,2,0,20,1,1
280 LINE TYPE 1
290 CLIP OFF
300 CSIZE 3.0,.6
310 LORG 6
320 FOR I=0 TO 3600 STEP 300
330 MOVE I,19.9
340 LABEL USING "#,K";I/60
350 NEXT I
360 LORG 8
370 FOR I=20 TO 35 STEP 5
380 MOVE -.5,I
390 LABEL USING "#,K";I
400 NEXT I
410 PENUP
420 RETURN
430 !*****
440 !* FIN DEL ANEXO 1 *
450 !*****
460 !
470 DATA .025661297,-6.1954869E-7,2.2181644E-11,-3.55009E-16
480 END
```

A N E X O I V

Programa elaborado para gráficar temperatura contra tiempo de muestreo. La función de este programa, es la de extraer la información almacenada en los archivos y procesarla, de tal forma que pueda obtenerse la gráfica de la temperatura de los diferentes termopares instalados en el colector como función del tiempo.

Se describen a continuación las variables del programa, así como su significado.

Variable	Significado
A#	Nombre del archivo
D	Tipo de línea con la que se quiere graficar un determinado termopar.
E	Termopar a graficar.
L	Numero total de lecturas por corrida
N1	Numero de canales a muestrear.
N2	Numero de muestras
T(I)	Valor de la temperatura para un canal dado.

En seguida se muestra un listado del programa generado para este fin.

```

0 !*****
0 !
0 ! ANEXO IV
0 !*****
0 !*****
0 !* GRAFICA TEMPERATURA DE TODOS LOS TERMOFARES *
0 !* CONTRA EL TIEMPO *
0 !*****
0 DIM T(420)
00 PRINT "NOMBRE DEL ARCHIVO"
10 INPUT A$
20 ASSIGN @Path TO A$
30 N1=7
40 N2=60
50 PRINT "NUMERO TOTAL DE CANALES=";N1
60 PRINT "NUMERO DE MUESTRAS=";N2
70 L=N1*N2
80 FOR I=L TO 1 STEP -1
90 ENTER @Path,I;T(I)
00 NEXT I
10 ASSIGN @Path TO *
20 !*****
30 GINIT
40 PLOTTER IS 705,"HPGL"
50 GRAPHICS ON
60 LORG 6
70 X_gdu_max=100*MAX(1,RATIO)
80 Y_gdu_max=100*MAX(1,1/RATIO)
90 FOR I=-.3 TO .3 STEP .1
00 MOVE X_gdu_max/2+I,Y_gdu_max
10 LABEL "TEMPERATURA DEL FLUIDO"
20 NEXT I
30 DEG
40 LDIR 90
50 CSIZE 3.5
60 MOVE 0,Y_gdu_max/2
70 LABEL "Temperatura (C)"
80 LORG 4
90 LDIR 0
00 MOVE X_gdu_max/2,.07*Y_gdu_max
10 LABEL "Tiempo(minutos)"
20 VIEWPORT .1*X_gdu_max,.98*X_gdu_max,.15*Y_gdu_max,.9*Y_gdu_max
30 WINDOW 0,3600,20,55
40 AXES 60,1.0,0,20,5,5,3
50 AXES 60,1.0,3600,55,5,5,3
60 LINE TYPE 3
70 !GRID 600,10,0,20,1,1
80 LINE TYPE 1
90 CLIP OFF
00 CSIZE 3.0,.6
10 LORG 6
20 FOR I=0 TO 3600 STEP 300
30 MOVE I,19.9
40 LABEL USING "#,K";I/60
50 NEXT I

```

```
60  LOGR 8
70  FOR I=20 TO 55 STEP 5
80    MOVE -.5,I
90    LABEL USING "#,K";I
00    NEXT I
10  PENUP
20  PRINT "TIPO DE LINEA"
30  INPUT D
40  PRINT "CANAL QUE SE QUIERE GRAFICAR"
50  INPUT E
60  LINE TYPE D
70  MOVE 0,0
80  FOR I=E TO L STEP 7
90  PLOT I*8.57142857,T(I)
00  NEXT I
10  GOTO 620
20  END
```

ANEXO V

Programa elaborado para graficar la insolación total recibida contra el tiempo.

Este programa grafica la insolación total recibida durante el período de prueba contra el tiempo de muestreo. A continuación se definen las variables involucradas en el programa así como su significado.

Variable	Significado
A\$	Nombre del archivo a graficar
L	Número total de lecturas durante la prueba
N1	Canal del piranómetro.
N2	Número de muestras tomadas para cada corrida
T(I)	Valor de la insolación al tiempo I
X,Y	Comandos para centrar los letreros.

A continuación se muestra un listado de este programa.

```

0 *****
0 !
0 !
0 !           A N E X O   V
0 !     PROGRAMA PARA GRAFICAR INSOLACION CONTRA
0 !     TIEMPO
0 *****
0 *****
0 !* INSTRUCCIONES PARA LEER ARCHIVOS          *
0 *****
00 DIM T(420)
01 PRINT "NOMBRE DEL ARCHIVO"
02 INPUT A$
03 ASSIGN @Path TO A$
04 N1=7
05 N2=60
06 PRINT "NUMERO TOTAL DE CANALES=";N1
07 PRINT "NUMERO DE MUESTRAS=";N2
08 L=N1*N2
09 FOR I=L TO 1 STEP -1
10 ENTER @Path,I;T(I)
11 NEXT I
12 ASSIGN @Path TO *
13 *****
14 !* INSTRUCCIONES DE GRAFICACION          *
15 *****
16 !
17 GINIT
18 PLOTTER IS 3,"INTERNAL"
19 GRAPHICS ON
20 LORG 6
21 X_gdu_max=100*MAX(1,RATIO)
22 Y_gdu_max=100*MAX(1,1/RATIO)
23 FOR I=-.3 TO .3 STEP .1
24 MOVE X_gdu_max/2+I,Y_gdu_max
25 LABEL "I N S O L A C I O N "
26 NEXT I
27 DEG
28 LDIR 90
29 CSIZE 3.5
30 MOVE 0,Y_gdu_max/2
31 LABEL "INSOLACION EN W/m^2"
32 LORG 4
33 LDIR 0
34 MOVE X_gdu_max/2,.07*Y_gdu_max
35 LABEL "Tiempo(minutos )"
36 VIEWPORT .1*X_gdu_max,.98*X_gdu_max,.15*Y_gdu_max,.9*Y_gdu_max
37 WINDOW 0,3600,100,1000
38 AXES 60,100,0,100,5,5,3
39 AXES 60,100,3600,1000,5,5,3
40 LINE TYPE 3
41 GRID 300,100,0,100,1,1
42 LINE TYPE 1
43 CLIP OFF
44 CSIZE 3.0,.6
45 LORG 6

```



```
60 FOR I=0 TO 3600 STEP 300
70   MOVE I,100
80   LABEL USING "#,K";I/60
90 NEXT I
00 LORG 8
10 FOR I=100 TO 1000 STEP 100
20   MOVE -.5,I
30   LABEL USING "#,K";I
40 NEXT I
50 PENUP
60 MOVE 0,0
70 FOR I=7 TO L STEP 7
80 PLOT I*8.57142857,T(I)
90 NEXT I
00 END
```

ANEXO VI

Programa para evaluar la eficiencia instantánea y graficarla contra el tiempo.

Este programa se generó con el objeto de que usando la información almacenada en archivos, se encontrara la eficiencia puntual y a su vez la graficara contra el tiempo. También realiza el cálculo para hacer la gráfica de eficiencia como función de la variable: $(T_f - T_a) / I$.

De esta última gráfica se determinan, por regresión lineal, los valores del coeficiente de transferencia de calor y del coeficiente de pérdidas ópticas. A continuación se muestran las variables involucradas y su significado.

Variable	Significado
Aa	Area de apertura
A\$	Nombre del archivo
Cp	Capacidad calorífica del agua
EfI	Eficiencia promedio
Eta(I)	Eficiencia instantánea
Fm(I)	Valor de la temperatura a la salida del colector
Fs (I)	Valor de la temperatura a la entrada del colector

L	Número total de muestras
M	Gasto masico del fluido de trabajo
$Nc(I)$	Valor de la del factor $(Tf-Ta)/I$
N1	Número de canales a analizar
N2	Número de muestras
Q	Calor útil promedio
Qutil	Calor útil puntual
$Rd(I)$	Valor de la radiación instantánea
Ta	Temperatura ambiente.

À continuación se muestra el listado de este programa.

```

0 *****
0 !
0 A N E X O V I I
0 *****
0 *****
0 !* GRAFICA LA TEMPERATURA A LO LARGO DEL ABSORBEDOR *
0 *****
0 DIM T(420),Y(100)
0 PRINT "NOMBRE DEL ARCHIVO"
0 INPUT A$
0 ASSIGN @Path TO A$
0 N1=7
0 N2=3
0 PRINT "NUMERO TOTAL DE CANALES="
0 PRINT "NUMERO DE MUESTRAS="
0 L=N1*N2
0 FOR I=L TO 1 STEP -1
0 ENTER @Path,I;T(I)
0 NEXT I
0 ASSIGN @Path TO *
0 !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
0 !!!!!!!!!!! FIN DEL PROGRAMA !!!!!!!!!!!!!!!
0 !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
0 !
0 *****
0 !* GRAFICACION *
0 *****
0 !
0 GINIT
0 PLOTTER IS 3,"INTERNAL"
0 GRAPHICS ON
0 LORG 6
0 CSIZE 4.5
0 X_gdu_max=100*MAX(1,RATIO)
0 Y_gdu_max=100*MAX(1,1/RATIO)
0 FOR I=-.2 TO .2 STEP .1
0 MOVE X_gdu_max/2+I,Y_gdu_max
0 LABEL "TEMPERATURA DEL FLUIDO A LO LARGO DEL ABSORBEDOR"
0 NEXT I
0 DEG
0 LDIR 90
0 CSIZE 3.5
0 MOVE 0,Y_gdu_max/2
0 LABEL "Temperatura ('C)"
0 LORG 4
0 LDIR 0
0 MOVE X_gdu_max/2,.07*Y_gdu_max
0 LABEL "DISTANCIA EN (m)"
0 VIEWPORT .1*X_gdu_max,.98*X_gdu_max,.15*Y_gdu_max,.9*Y_gdu_max
0 WINDOW 0,2.5,20,55
0 AXES .1,2.5,0,20,5,5,3
0 AXES .1,2.5,2.5,55,5,5,3
0 CLIP OFF
0 CSIZE 3.0,.6
0 LORG 6
0 FOR I=0 TO 2.50 STEP .20

```

```

50     MOVE I,19.9
70     LABEL USING "#,K";I
80     NEXT I
90     LOG 8
00     FOR I=20 TO 55 STEP 5
10         MOVE 0.,I
20         LABEL USING "#,K";I
30         NEXT I
40     PENUP
50     FOR I=1 TO L STEP 7
00         MOVE .012,T(I)
10         PLOT .012,T(I)
21         LABEL "#"
30         NEXT I
40     FOR I=2 TO L STEP 7
50         MOVE .25,T(I)
60         PLOT .25,T(I)
71         LABEL "#"
80         NEXT I
90     FOR I=3 TO L STEP 7
00         MOVE .5,T(I)
10         PLOT .5,T(I)
21         LABEL "#"
30         NEXT I
40     FOR I=4 TO L STEP 7
50         MOVE .75,T(I)
60         PLOT .75,T(I)
71         LABEL "#"
80         NEXT I
90     FOR I=5 TO L STEP 7
00         MOVE 1,T(I)
10         PLOT 1,T(I)
21         LABEL "#"
30         NEXT I
40     MOVE 0,25
50     PRINT "DAME EL VALOR DE LA CONSTANTE B"
60     INPUT B
70     FOR I=0 TO 20
80         Y(I)=51-26*EXP(-B*I)
90         DRAW I,Y(I)
00         NEXT I
10     PRINT "DESEAS HACER OTRO AJUSTE SI=1 , NO= 0"
20     INPUT Si
30     IF Si=1 THEN GOTO 280
40     !*****
50     !*     FIN DEL ANEXO 1     *
60     !*****
70     END

```

A N E X O V I I

Programa que extrae los datos de los archivos, para graficar la temperatura como función de la distancia.

A continuación se listan las variables involucradas en este programa.

Variable	Significado
A\$, L, N1, N2	Significados dados anteriormente
E	Canal que se quiere graficar.
F	distancia a lo largo del absorbedor
T	Valor de la temperatura

Se anexa listado

```

0 !*****
0 !
0 !           A N E X O   V I
0 !           CALCULO Y GRAFICA DE LA EFICIENCIA INSTANTANEA
0 !*****
0 DIM T(420),Rd(420),Eta(420),Fm(420),Fs(420),Te(420),Et(420),Nc(420)
0 DIM Gutil(100)
0 !*****
0 !           INSTRUCCIONES PARA LEER EL ARCHIVO
0 !*****
00 PRINT "NOMBRE DEL ARCHIVO"
0 INPUT A$
00 ASSIGN @Path TO A$
00 N1=7
00 N2=60
00 PRINT "NUMERO TOTAL DE CANALES";N1
00 PRINT "NUMERO DE MUESTRAS=";N2
00 L=N1*N2
00 FOR I=L TO 1 STEP -1
00 ENTER @Path,I;T(I)
00 NEXT I
00 ASSIGN @Path TO *
00 !*****
00 !           CALCULA LA EFICIENCIA PUNTUAL
00 !*****
00 Aa=.216
00 Cf=4.175
00 PRINT "CALOR ESPECIFICO A TEMPERATURA PROMEDIO EN KJ/Kg K= ";Cf
00 PRINT "FLUJO VOLUMETRICO EN ml/min ="
00 INPUT M
00 M=M*996/(60*1.E+6)
00 PRINT "FLUJO MASICO EN Kg/s";M
00 GINIT
00 GRAPHICS ON
00 LORG 6
00 X_gdu_max=100*MAX(1,RATIO)
00 Y_gdu_max=100*MAX(1,1/RATIO)
00 FOR I=-.3 TO .3 STEP .1
00 MOVE X_gdu_max/2+I,Y_gdu_max
00 LABEL " E F I C I E N C I A "
00 NEXT I
00 DEG
00 LDIR 90
00 CSIZE 3.5
00 MOVE 0,Y_gdu_max/2
00 LABEL "EFICIENCIA PUNTUAL"
00 LORG 4
00 LDIR 0
00 MOVE X_gdu_max/2,.07*Y_gdu_max
00 LABEL "Tiempo(minutos )"
00 VIEWPORT .1*X_gdu_max,.98*X_gdu_max,.15*Y_gdu_max,.9*Y_gdu_max
00 WINDOW 0,60,0,100
00 AXES 1.,10,0,0,5,5,3
00 AXES 1.,10,60,100.,5,5,3
00 LINE TYPE 4
00 GRID 10,20,0,0,1,1

```

```

60 LINE TYPE 1
70 CLIP OFF
80 CSIZE 3.0, .6
90 LONG 6
00 FOR I=0 TO 60 STEP 5
10 MOVE I,0.
20 LABEL USING "#,K"; I
30 NEXT I
40 LONG 8
50 FOR I=0 TO 100. STEP 10
60 MOVE -.5, I
70 LABEL USING "#,K"; I
80 NEXT I
90 FOR I=0 TO 60
00 IF I=60 THEN GOTO B70
10 Rd(I)=T((I+1)*7)
20 PRINT "RADIACION"; Rd(I)
30 Fm(I)=T(I*7+5)
40 Fs(I)=T(I*7+1)
50 ! PRINT TAB(1); T(I*5+4); TAB(20); T((I+1)*5); TAB(35); T(I*5+1)
60 Qutil(I)=(Fm(I)-Fs(I))*M*Cf*1000
70 Eta(I)=((Fm(I)-Fs(I))*M*Cf*1000/(Aa*Rd(I)))
80 MOVE I, Eta(I)*100
90 PLOT I, Eta(I)*100
00 MOVE I, Qutil(I)
10 PLOT I, Qutil(I)
20 Q=Q+Qutil(I)
30 Efi=Efi+Eta(I)
40 ! PRINT "EFICIENCIA= "; Efi
50 PRINT "CALOR UTIL", Qutil(I)
60 NEXT I
70 PRINT
80 PRINT "RESULTADO"
90 PRINT
00 Efi=(Efi/60)*100
10 PRINT "EFICIENCIA PROMEDIO="; Efi
20 Q=Q/60
30 PRINT "CALOR UTIL"; Q
40 !DUMP GRAPHICS
50 !*****
60 !*****
70 ! GRAFICA DE EFICIENCIA VS (TI-TA)/I
80 !*****
90 !*****
000 PRINT "TEMPERATURA AMBIENTE"
10 INPUT Ta
20 GRAPHICS ON
30 GINIT
40 LONG 6
50 X_gdu_max=100*MAX(1, RATIO)
60 Y_gdu_max=100*MAX(1, 1/RATIO)
70 FOR I=-.3 TO .3 STEP .1
80 MOVE X_gdu_max/2+I, Y_gdu_max
90 LABEL " EFICIENCIA VS (Tf-Ta)/I "
00 NEXT I

```



```

110 DEG
120 LDIR 90
130 CSIZE 3.5
140 MOVE 0,Y_gdu_max/2
150 LABEL "EFICIENCIA PUNTUAL "
160 LORG 4
170 LDIR 0
180 MOVE X_gdu_max/2,.07*Y_gdu_max
190 LABEL "(T(SALIDA)-T(AMBIENTE))/INSOLACION"
200 VIEWPORT .1*X_gdu_max,.98*X_gdu_max,.15*Y_gdu_max,.9*Y_gdu_max
210 WINDOW 0,.03,0,1.
220 AXES .002,.5,0,0,5,5,3
230 AXES .002,.50,.03,1.,5,5,3
240 LINE TYPE 3
250 ! GRID .002,.1,0,0,1,1
260 LINE TYPE 1
270 CLIP OFF
280 CSIZE 3.0,.6
290 LORG 6
300 FOR I=0 TO .03 STEP .002
310   MOVE I,0.
320   LABEL USING "#,K";I
330 NEXT I
340 LORG 8
350 FOR I=0 TO 1. STEP .1
360   MOVE 0.,I
370   LABEL USING "#,K";I
380 NEXT I
390 FOR I=0 TO 60
400   IF I=60 THEN GOTO 1470
410   Nc(I)=(T(I*7+5)-Ta)/T((I+1)*7)
420   PRINT Eta(I),Nc(I)
430   MOVE Nc(I),Eta(I)
440   PLOT Nc(I),Eta(I)
450 NEXT I
460 !DUMP GRAPHICS
470 PRINT "TERMINE"
480 END

```

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Winston, R., "Light Collection within the Framework of Geometrical Optics". J. Op. Soc. Am., vol.48, pp.245-247, 1970
- 2.- Winston, R., "Principles of Solar Concentrator". Solar Energy, vol. 16, pp. 89-95, 1974
- 3.- Winston, R. y Hinterberger, H., "Principles of Cylindrical Concentrator for Solar Energy." Solar Energy, vol.17, pp. 255-258, 1975
- 4.- Rabl, A., Vaclav, J.S., Raymundo, M.G. y Winston, R., "Uses of Compound Parabolic Concentrator for solar Energy" Reporte del Laboratorio Nacional de Argon, número ANL75-42, 1975
- 5.- Rabl, A., "Radiation Transfer Thorough Specular Passages". Reporte del Laboratorio Nacional de Argon, número SOL-75-03, 1975
- 6.- Raymundo, M. G., Rabl, A., Keed, K., Vacla, J.S. y Winston, R. "Compound Parabolic Concentrator for Solar-Thermal Power". reporte del Laboratorio Nacional de Argon, número ANL-75-52, 1975
- 7.- U.Ortobasi y Fehlner, F.P., "Evacuated Tubular Collector Utilizing a Heat Pipe". reporte del Departamento de Energia, número COO/2608-1, may. 1975
- 8.- Rabl, A., "Comparison of Solar Concentrators". Solar Energy, vol. 18, pp. 93-111, 1974
- 9.- Rabl, A., "Optical and Thermal Propieties of C.P.C." Solar Energy, vol. 18, pp. 497-511, 1974
- 10.- Winston, R., "Dielectric C.P.C.". Applied optics, vol. 15, no.2, pp 291-292, 1976
- 11.- Rabl, A., "Solar concentrator with maximal concentrator cylindrical absorbers." App. Opt., vol. 15, no 17, pp.1871-1873, 1976
- 12.- Rabl, A. y Winston, R., "Ideal Concentrator for Finite Sources and Restricted Exit Angles". App. Opt., vol.15, no.11, pp. 2871-1883, 1976
- 13.- Allen, J.W., Norman, M., Rabl, A., Reed, K., William, W.S., Thodos, G. y Winston, R., "Development and Demonstration of Compound Parabolic Concentrators for Solar Thermal Power Generation and

Heating and Cooling Application". reporte del Laboratorio Nacional de Argon, número ANL-76-71, 1976.

- 14.- Thodos, G., "Predicted Heat-Transfer Performance of an Evacuated Glass-Jacketed C.P.C. Receiver Countercurrent Flow Design". reporte del Laboratorio Nacional De Argon, número ANL-76-67, 1976.
- 15.- Rabl, A., "Radiation Transfer Through Specular Passages- a Simple Approximation". J. Heat Mass Trans., vol. 20, pp. 323-330, 1977
- 16.- Collares-Pereira, A., Rabl, A. y Winston, R., "Lens-Mirror Combination with Maximal Concentration". Appl. Opt., vol. 16, no.10, pp. 2677-26883, 1977
- 17.- Allen, J., Levitz, N., O'Gallagher, J., Peter, T., Rabl, A., Reed, K., Shertz, W., Winston, R., "Performance of Evacuated Solar Collector with CPC." Congreso ISES, vol. 1, pp. 275-280, Hamburgo, 1977
- 18.- General Electric "Analysis of Design Changes Necessary to Adapt Receiver to CPC " reporte del Laboratorio Nacional de Argon, número ANL-K77-3805-1, 1977
- 19.- Mills, D.R. y Giutronich, J., "Asymmetrical Non-Imagin Cylindrical Solar Energy Concentrators". Solar Energy, vol. 20, pp. 45-55, 1978
- 20.- Mills, D.R., "The Place of Extreme Asymmetrical Non-Focussing Concentrator in Solar Energy Utilization" Solar Energy, vol. 21, pp. 431-434, 1978
- 21.- Beekman, N.A., Buclear, J.M., Cooper, P.I., "Unit and Symbols in Solar Energy " Solar Energy, vol. 21, pp. 65-68, 1978
- 22.- Winston, R., "Ideal Concentrator with Reflector Gaps". App. Opt., vol. 17, no. 11, pp. 1668-1669, 1978
- 23.- Winston, R. y Welford, W. " Two-Dimensional Concentrator for Inhomogeneous Media". J. Opt. Am., vol.68, no.3, pp.289-291, 1978
- 24.- Collares-Pereira, M. y Rabl, A., "Simple Procedure for Predicting Long-Term Average Performance of Nonconcentrating and of Concentrating Solar Collector". reporte del Laboratorio Nacional de Argon, número, 1978.
- 25.- Collares-Pereira, M. y Rabl, A., " The Average Distribution of Solar Radiation Correlations Between Diffuse and Hemispherical and Between Daily and Hourly Insolation Values". Solar Energy, vol. 22, pp. 155-164, 1979
- 26.- Rabl, A. y Winton, R., " Practical Design Consideration for CPC Solar Collector". Solar Energy, vol. 22, pp. 373-381, 1979
- 27.- Mill, D.R. y Giutronich, J. E., "New Ideal Concentrator for Distant Radiation Sources." Solar Energy, vol. 23, pp. 85-87, 1979

- 28.- Garrison, J.D., "Optimization of Fixed Solar Thermal Collector" Solar Energy, vol.23, pp. 93-102, 1979
- 29.- Garrison, J.D., "Radiation Collection and Optimized Fixed Collector" Solar Energy, vol. 23, pp. 103-109, 1979
- 30.- Collares-Pereira, M., y Rabl, A., "Derivation of Method for Predicting Long Term Average Energy Delivery of Solar Collectors". Solar Energy, vol. 23, pp. 223-233, 1979
- 31.- Collares-Pereira, M., "High Temperature Solar Collector with Optimal Concentration Non-Focusing Fresnel with Secondary Concentrator." Solar Energy, vol. 23, pp. 409-420, 1979
- 32.- Winston, R. y Welford, W., "Ideal Flux Concentrator as Shaps that do not Disturb their Geometrical Vector Flux Field: A New Derivation of the C.P.C.". J. Opt. Soc. Am., vol 69, no.4, pp. 536-537, 1979
- 33.- Ballheim, R., "3X CPC Solar Collector ." U.S. Department of Energy, número ALO-4239-T1, 1979
- 34.- Graham, B., "A survey and Evaluation of Current Design of Evacuated Collector ." U.S. Department of Energy, número ALO-5335-1, 1979
- 35.- Jones, R.E. y Anderson, A., " Circular Arc Approximations of Truncated CPC Collector." Solar Energy, vol. 25, pp. 139-147, 1980
- 36.- Goldberg, B., "Error Associated with Precision Pyranometer on a Tilted Surface." Solar Energy, vol. 25, pp. 285-286, 1980
- 37.- O'Gallagher, J.J., Rabl, A. y Winston, R., " Absortion in Solar Collector by Multiple Reflections," Solar Energy, vol. 24, pp. 323-326, 1980
- 38.- O'Gallagher, J.J. y Winston, R., " Design and Test of Non-Evacuated Solar Collector with CPC " Solar Energy, vol. 24, pp. 335-351, 1980
- 39.- Jordan, J. Y Rabl, A., "Design Analysis and Optimazation of Solar Industrial Process Heat Plant without Storage." Solar Energy, vol. 28, pp. 519-530, 1980
- 40.- O'Gallagher, J. y Winston, R., " Optical Losses and Heat Transfer in an Evacuated Tubular Absorber Under 5x Nonimaging Concentretion". memorias de la reunión ISSSES, pp. 1-5, 1980
- 41.- Winston, R. y O'Gallagher, J., " Fundamentals and Techniques of Nonimaging Optics for Solar Energy Concentration ." reporte del instituto Enrico Fermi, número ER-78-S-02-4657, may. 1980
- 42.- Winston, R. y O'Gallagher, J., "Nonimaging Concentrator for Solar Thermal Energy " report final del Instituto Enrico Fermi, número EY-76S-02-2446, marzo 1980

- 43.- O'Gallagher, J.J. y Winston, R., "A New Evacuated CPC Collector Tube." Solar Energy, vol. 29, pp. 575-577, 1982
- 44.- O'Gallagher, J. y Snail, K., "Performance Testing of a Panel of Evacuated Tubes with Integrated CPC." memorias del Congreso ISSSES, pp. 1-7, 1982
- 45.- Mc.Garity, G., Allen, J. y Shertz, W., "Side-by-Side Comparisons of Evacuated CPC and Flat Plate Solar Collector System." reporte del Laboratorio Nacional de Argonne, número ANL-82-81, 1982
- 46.- Kritchman, E.M., O'Gallagher, J. y Winston, R., "Stationary Nonimaging Concentrator as a Second Element in Tracking Systems." Solar Energy, vol. 23, pp. 601-602, 1983
- 47.- Tor, Ragnar, Hammer, "Calibration of Tilted Empley Pyranometer Under Solar Radiation." Solar Energy, vol. 32, no 1 pp. 139-140, 1984
- 48.- Riveros, H.G. y Olivia, A. J., "Análisis Grafico de Espejos Concentradores Solares "memorias Merida, de ANES, 1984
- 49.- ASHRAE, (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers) "Standard methos of testing to determine the thermal performance of solar collector " N.Y., 1977
- 50.- Welford, W. T. y Winston, R., "The Optics of Nonimaging Concentrator and Solar Energy" Academic Pres. N.Y., 1978
- 51.- CEC, (Commision of the European Communities) "Reccomendation for European Solar Tests methods" ed. A., Derrick, jun, 1980
- 52.- Del Castillo, L., Ferrández, A. y Quintana, J., " Desarrollo de un Baño Electrolitico para el Deposito de Cromo Negro como Superficie Selectiva" VI Congreso de la Academia Nacional de Ingenieria, 1980
- 53.- John, L., Vassen y Werner, K., " Thin Films Processes " Ed. Academic, N.Y.
- 54.- Robert, G., Flagle, N. y Businger, P., "Atmospheric Physics". Ed. Academic, N.Y.
- 55.- Omega " Manual de medición de temperatura Omega ". Ed. Ingenieria, Inc.
- 56.- Nireles, J. y Ramos E. " Construcción y Normalización de un Colector Parabólico Compuesto" Congreso de Asociación Nacional de Energia Solar Merida, 1985
- 57.- Kreider, J. y Krit, F., " Solar Energy Handbook " Ed. Mc.Graw-Hill